

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ

KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY

Vývoj a současné trendy v používání vybraných neželezných kovů
v automobilech

Development and current trends in the use of selected non-ferrous metals
in cars

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: David Lovász

Vedoucí práce: Ing. Jitka Malcharcziková, Ph.D.

OSTRAVA 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **David Lovász**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Vývoj a současné trendy v používání vybraných neželezných kovů v automobilech**
Development and current trends in the use of selected non-ferrous metals in cars

Zásady pro vypracování:

Zpracování literární rešerše se zaměřením na:

- materiálovou skladbu automobilů
- uplatnění vybraných neželezných kovů v automobilech – specifikace výskytu
- možnosti následného využití neželezných kovů z autovraků
- hodnocení současného stavu – změny v používání vybraných neželezných kovů v automobilech.

Seznam doporučené odborné literatury:

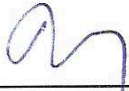
- [1] MACHEK, V., SODOMKA, J. Nauka o materiálu. Speciální kovové materiály. Praha, 2008, 118 s.
- [2] TAKÁČOVÁ, Z., MIŠKUFOVÁ, A. Základné informácie o odpadoch. Košice, 2011, 236 s.
- [3] Aktuální internetové zdroje.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jitka Malcharcziková, Ph.D.**

Datum zadání: 29.11.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry. Měl by korespondovat s podobou vnějších desek (viz část III) doplněnou o název práce, umístěný nad spojením *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*.

ad 2) Originál zadání BP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení je napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a je vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listu vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. jedné strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. cca 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listu. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘKÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského, studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2013/2014. Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru.

Ostrava 22. 11. 2013

Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

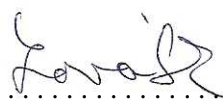
PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě 30. 4. 2014

..... 
podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Jitce Malcharczikové, Ph.D. za příkladné vedení, cenné rady a čas věnovaný této bakalářské práci. Dále bych chtěl také poděkovat rodině za trpělivost a také přítelkyni, která mě při psaní této práce podporovala.

Při řešení práce bylo využito zařízení pořízené v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0040 “Regionální materiálově technologické výzkumné centrum” – ruční rentgenový spektrometr Delta Professional. Práce byla zpracována díky podpoře projektu projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Vývoj automobilů a materiálů používaných v automobilovém průmyslu	2
3.	Materiálová skladba moderních automobilů	4
3.1	Hliník	5
3.1.1	Slitiny hliníku použité v automobilovém průmyslu	7
3.1.2	Slitiny určené ke tváření	7
3.1.3	Slitiny určené k odlévání	9
3.1.4	Hliníková pěna.....	9
3.1.5	Aplikace hliníku v automobilovém průmyslu	10
3.2	Titan	15
3.2.1	Titanové slitiny	16
3.2.2	Aplikace titanu v automobilovém průmyslu	18
3.3	Hořčík	21
3.3.1	Slitiny hořčíku	22
3.3.2	Slitiny hořčíku pro odlévání	22
3.3.3	Slitiny hořčíku pro tváření	22
3.3.4	Aplikace hořčíku v automobilovém průmyslu	23
3.4	Ostatní materiály používané pro automobily	24
4.	Možnosti následného využití neželezných kovů z autovraků	25
4.1	Zpracování a další využití neželezných kovů	27
4.2	Zpracování a další využití nekovových materiálů	29
5.	Zhodnocení současného stavu a změny v používání neželezných kovů použitých v automobilech	30
6.	Praktická část.....	33
6.1	Metoda měření	33
6.2	Technologie měření	34
6.3	Zkušební vzorky	35

6.3.1 Měření jednotlivých vzorků	36
6.4 Shrnutí chemické analýzy vzorků	41
7. Závěr	42
Seznam použité literatury	43
Seznam zkratk.....	48
Seznam obrázků.....	49

Abstrakt

Práce je tematicky zaměřena na vývoj a současné trendy v používání vybraných neželezných kovů v automobilech. První část práce je věnována teoretickým aspektům využívání neželezných materiálů v automobilovém průmyslu, kde je popsán vývoj materiálové skladby automobilů od historie až po současnost. Dále jsou zde charakterizovány vybrané neželezné materiály a jejich slitiny. Následuje kapitola o možnostech dalšího využití těchto materiálů z autovraků a zhodnocení současné situace v používání zmiňovaných materiálů. Druhá část práce je věnována měření, které bylo provedeno pomocí ručního spektrometru. Při měření bylo analyzováno chemické složení vybraných automobilových součástí.

Klíčová slova

Neželezné kovy, hliník, titan, hořčík, automobil, materiálové složení, slitina

Abstract

This bachelor thesis is focused on development and contemporary trends of chosen non-ferrous metals, used in cars. The first part deals with theoretical aspects of usage non-ferrous metals in car industry, where development of material compositions of cars, since the past till the present, is described. A part of this chapter is also characteristic of chosen non-ferrous metals and their alloy. The next part focuses on possibilities of another usage of these materials from wrecked cars and evaluation of present situation and usage of materials mentioned above. The second part deals with measurement, which has been made by the help of hand spectroscopy. During measuring, there has been analyzed the chemical composition of chosen automobile components.

Key words

Non-ferrous metals, aluminium, titanium, magnesium, car, material composition, alloy

1. Úvod

Počátky výroby automobilů sahají až do 18. století, kdy bylo vynalezeno první vozidlo schopné pohybu bez pomoci lidské nebo zvířecí síly. Konstrukce byla primitivní (pouze dřevěný rám), avšak adekvátní roku 1769, kdy první automobil vyjel na silnici. S pokračujícím vývojem strojírenství se technologie zlepšovaly, byly objevovány nové materiály a metody zpracování kovů. Díky těmto krokům kupředu se otevřela cesta výrobcům automobilů, přičemž první velké příležitosti využil Henry Ford, který zavedl sériovou výrobu modelu Ford T. U tohoto vozidla se poprvé začaly využívat nové materiály. Pro výrobu hlavy motoru se používala šedá litina s jemnozrnnou strukturou. Úplnou novinkou ale byla vanadiová ocel, používaná na hřídele. Rok 1936 přinesl průlom v použití materiálů, když na karoserii vozidla bylo prvně využito neželezných materiálů, konkrétně hliníků.

Použití hliníku se začalo postupně v automobilovém průmyslu rozšiřovat, až se dostalo na dnešní hodnoty. Výrobci si začali uvědomovat, že tento materiál vede ke snižování hmotnosti a tak se stal nedílnou součástí většiny vozidel. Danou materiálovou problematiku podpořily v 70. letech minulého století problémy životního prostředí, které se začaly dostávat do povědomí odborníků i veřejnosti a přerostly až v globální změny klimatu. Od této doby se mnoho výrobků a činností začalo posuzovat právě s ohledem na životní prostředí. S rychle rostoucí motorizací se otázka životního prostředí čím dál tím více dotýkala také automobilového průmyslu. Tím byla vytvořena nová výzva především v oblasti materiálů a pohonu automobilů – jak skloubit výkon, funkčnost a šetrnost k životnímu prostředí? Materiáloví inženýři začali pracovat na vývoji nových materiálů a výsledkem bylo rozšíření a proměna materiálové skladby automobilů. Východiskem pro zlepšení situace se jeví použití lehkých materiálů, například z oblasti neželezných kovů a to jak na konstrukční prvky, tak na doplňky vozidel. Nejrozšířenějšími zástupci zmiňované skupiny jsou hliník, hořčík, titan nebo měď.

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit vývoj a současné trendy v používání vybraných neželezných kovů v automobilech. V dnešní době rychlého technického rozvoje automobilového průmyslu dochází k výrazným změnám v používání částí automobilů. V experimentální části práce byly analyzovány vybrané součásti pomocí ED-XRF spektrometru a případně identifikována použitá konkrétní slitina na bázi neželezných kovů.

2. Vývoj automobilů a materiálů používaných v automobilovém průmyslu

Již s vývojem prvního automobilu v roce 1769 si musel konstruktér a výrobce v jedné osobě Nicolas Cugnot položit otázku, z jakých materiálů sestavit svůj automobil, aby byl dost pevný, ale na druhou stranu uvezl kvůli hmotnosti sám sebe. U prvních prototypů se mu dařilo splňovat požadavek pevnosti, konstrukce byla převážně ze dřeva, ale při umístění parního kotle vyrobeného z mědi byla celková hmotnost 5 tun. Zajímavostí u tohoto prvního automobilu, který byl schopen vyvinout rychlost 3 míle za hodinu (cca 4,8 km/h) došlo k „první automobilové nehodě“ po nezvládnutí vozidla a nárazu do domu [1].

Dalším velkým a podstatným historickým milníkem v automobilismu je 28. únor 1888, kdy na silnici vyjelo první vozidlo s běhouny plněnými vzduchem. Stalo se tak díky patentu tehdy zvěrolékaře Johna Boyda Dunlopa, který na svůj vynález přišel spojením gumové hadice a naplněním vzduchem pomocí pumpičky na míč. Takto započala éra pneumatik [2,3].

S rokem 1900 se vůbec poprvé v dějinách automobilismu objevuje „hybridní“ automobil s názvem Lohner-Porsche Mixte. Ferdinand Porsche se tímto vozem stal průkopníkem v tomto odvětví. Ve vozidle byl instalován zážehový motor pro dobíjení akumulátorů umístěných v předních kolech. Hmotnost tohoto vozidla se pohybovala kolem 999 kilogramů a výkon dosahoval až 5 kW [4].

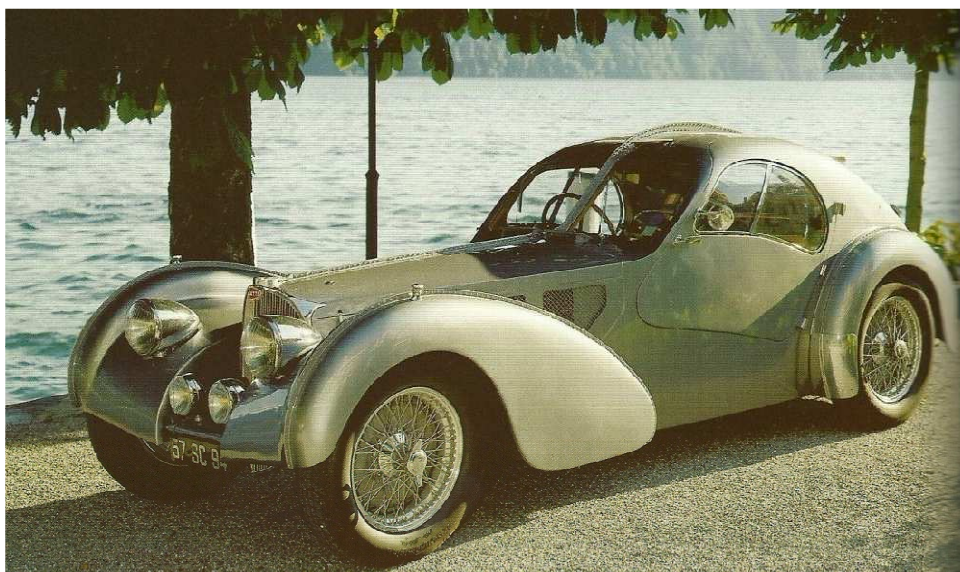
V roce 1908 přišel na trh Henry Ford se svým Modelem – T. Byl to automobil, který měl být a byl dostupný skoro pro všechny. Jeho cena byla 850 dolarů. Tento vůz byl díky zavedení pohyblivé montážní linky prvním sériově vyráběným automobilem na světě a v podstatě způsobil revoluci v celém automobilovém průmyslu a také v dopravě. Model-T měl, co se týče materiálů, hlavu válců z jemnozrnné šedé litiny, klikovou a vačkovou hřídel z Fordovy-vanadiové oceli. Spojka se skládala z několika třecích ocelových disků v olejové lázni a dřevěná kola osazena pneumatikami. Přední náprava byla zápusťkově vykována jako jeden celistvý kus a opět zde byla použita vanadiová ocel. I při velkém množství použité oceli a slitin se hmotnost pohybovala okolo 545 kg [5].

Rok 1922 přinesl světu další novinku a to v podobě Lancie Lambda, která se pyšnila prostorovým samonosným rámem. Celá konstrukce vozidla byla celokovová a tím byla znát

inovace oproti dosavadním vozidlům s rámem, částečně vyrobeným ze dřeva. Lancia Lambda procházela menšími proměnami týkající se úpravy náprav, rozvoru, pohonné jednotky a zavěšení až do roku 1937, kdy ji nahradil nový model Lancia Aprilia, jež do vínku dostala pohonné agregáty s lehkých slitin [6].

S postupem času, jak se měnily výrobní technologie, byly vyvíjeny nové materiály, požadavky a potřeby lidí se zvyšovaly. S příchodem roku 1936 byl představen v Německu Volkswagen Brouk. Byl to v podstatě modernější nástupce Modelu-T. Také byl masivně vyráběným sériovým vozidlem. Pro výrobu vzduchem chlazeného motoru a převodovky byly použity hořčíkové slitiny, které byly později ve druhé polovině 20. let nahrazeny slitinami hliníkovými [7,8].

Do automobilového světa proniknul v roce 1936 také prototyp s označením Typ 57 S Atlantic (obr. 1) výrobce Buggati, tento vůz měl obohatit svým vzhledem automobilový svět. Vůz byl představen na londýnské automobilové výstavě a všichni návštěvníci, kteří tento vůz spatřili, ztratili řeč. Karoserie byla vyrobena z hliníkových plechů a byla ze dvou polovin, které byly uprostřed auta snýtovány. Stejným způsobem byly vyrobeny také blatníky [9].



Obr. 1 Bugatti Atlantic

Jak čas postupoval, v roce 1950 se zrodilo rukama konstruktéra Carla Borgwarda malé vozidlo které mělo karoserii z překližky potažené koženkou. Rám byl tvořen trubkami a vozidlo získalo přezdívku „leukoplastový bombardér“. Motor „oplýval“ výkonem deseti koní, ale dokázal vozidlo rozpohybovat až na rychlost 75 Km/h. Byl to velmi zdařilý pokus o

vytvoření cenově dostupného automobilu své doby, jelikož tento automobil nesoucí název Lloyd LP 300 se stal bestsellerem [9].

V letech 1955-1991 se do Československa z německé automobilky ve Zwickau dostal automobil s názvem Trabant, tento vůz vešel do povědomí mnoha lidí svou karoserií z plastické hmoty - Duroplastu. Rám trabantu tvořil nosník z lisovaného plechu. Motor byl dvoudobý o obsahu 690 ccm s blokem vyrobeným z šedé litiny a hlavou motoru z lehkých slitin [9,10].

Jelikož tato kapitola byla věnována historickému vývoji vozidel a materiálu na nich použitých a byl popsán vývoj od počátku, až po současnost umožňuje nám to navázat na další téma.

3. Materiálová skladba moderních automobilů

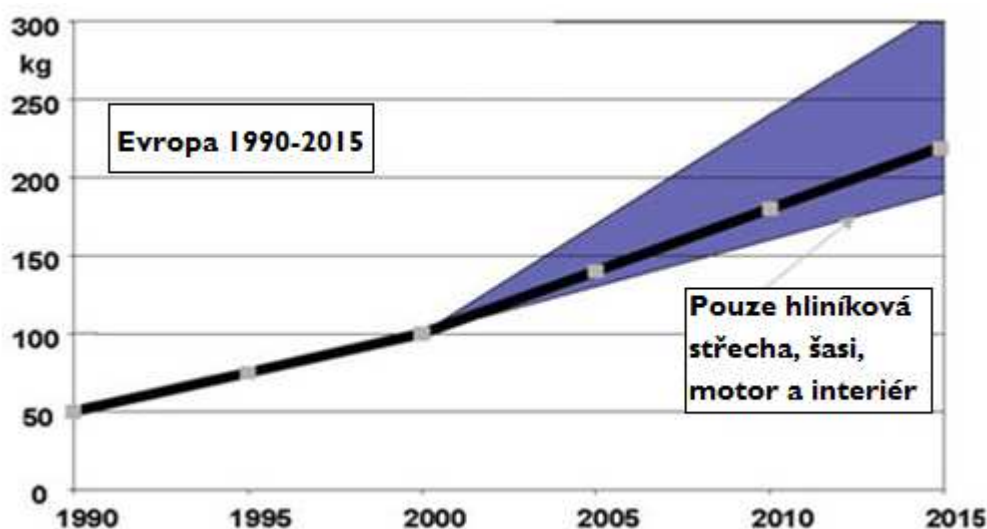
Dnešní moderní automobily jsou velmi různorodé, co se týče materiálové skladby. Schéma je jednoduché, každý výrobce automobilů má svou představu o materiálech, ze kterých se bude jeho navržené vozidlo vyrábět. Není žádným tajemstvím, že u velkosériově vyráběných vozidel hrají prim především výrobní náklady jednotlivých součástí, a až v další řadě se uvažuje o konkrétním materiálu, který by mohl být použit. Tento systém uvažování hraje do karet samotným vývojářům dnešních novodobých materiálů, jež vyrábějí například nové a nové typy materiálů na bázi železa, neželezných kovů, plastů či kompozitů pro dosažení optimálních požadavků od výrobce. Především z těchto, ale také mnoha jiných důvodů, mezi které patří například nejrozumnější karosářské verze vozidel a jejich výstroj a výbava je materiálové složení každého samotného typu vozidla jiné. Dalším prvkem ovlivňujícím množství a typy použitých materiálů je kategorie vozidla, do níž náleží. Z toho vyplývá, že pro dodávková vozidla bude použito jiné množství a kvalita plastových částí především v interiéru než například u osobních vozidel vyšší střední třídy. Zcela jiný příběh se odehrává u výrobců vozidel malosériových nebo dokonce zakázkových, kteří vyrábí ročně jen pár kusů. U těchto výrobců je velká většina samotného vozu vyráběná ručně, vyjma lakování karoserie. Na automobily, které vyrábějí tyto podniky nebo firmy, bývají použity většinou ty nejlevnější materiály vůbec. Jde jak o kvalitu estetickou, tak i funkční. Vyzdvihnout by se daly některé interiérové prvky například z „česaného“ hliníku, nebo ručně svařované hliníkové části rámu či karoserie.

3.1 Hliník

Hliník jako prvek byl objeven v roce 1825 dánským fyzikem, chemikem a filozofem Hansem Christianem Oerstedem, který jej jako první dokázal izolovat [11]. V automobilovém průmyslu se hliník začal objevovat před více než sto lety. Tehdy byl ještě hliník novým materiálem, který nebyl ještě úplně dokonale prozkoumán, ale jeho vlastnosti, především nízká měrná hmotnost a korozivzdornost, měly pro použití v automobilech velký potenciál. První sportovní vůz, u něhož byl hliník použit pro výrobu karoserie, spatřil světlo světa již roku 1899 na autosalonu v Berlíně. O dva roky později tento materiál použil Carl Benz na několik součástek v motoru speciálu pro závod v Nice. V této době, ale z důvodu špatné zpracovatelnosti a ještě neznalosti tohoto materiálu, jej nebylo možné použít pro větší objem výroby. Změna přišla po 2. světové válce, kdy začal být hliník levnější a britská společnost Land Rover začala s výzkumem lehkých materiálů. Výsledkem tohoto výzkumu byl první automobil s hliníkovým blokem motoru s osmi válci a hmotností pouhých 144 kg. Po skvělých výsledcích tohoto motoru, se technologie hliníkových bloků začala rozšiřovat i u jiných výrobců, dokonce se začala používat i do sériových vozů a také do monopostů formule 1. V 70. letech, kdy se začala projevovat ropná krize, začali i výrobci automobilů uvažovat o snižování spotřeby paliva. Výpočty a výzkumem bylo zjištěno, že pokud se u vozidla o střední hmotnosti dosáhne snížení hmotnosti o 100 kg, dojde během životnosti vozidla k úspoře paliva asi 700 litrů.

Spotřeba hliníku na jeden vůz (obr. 2) se v dnešní době průměrně pohybuje kolem 145 – 165 kg a každým rokem narůstá asi o dva kilogramy. Co se týče úspory hmotnosti do budoucna, vrcholný představitel společnosti Alcoa prohlásil, že do roku 2025 se zdvojnásobí použití hliníku u automobilů ze současných průměrných hodnot na 249 kg. Údajně podle předpokladů bude přechod od oceli k hliníku až tak velký, že v návaznosti na výši poptávky se zvýší výroba na dvojnásobek z 11,5mil. tun na 24,8 mil. tun [12]. Již v roce 1994 inženýři automobilky Audi dokázali, že vysokopevnostní hliníkové slitiny jsou srovnatelné s konvenčně používanou ocelí na prvky karoserie a sestavili model A8 u něhož použili zmiňovaný materiál. Vozidlo tedy mělo karoserii kompletně celou z hliníku a tím se váha snížila o 239 kg. Rokem 1997 byla představena Audi A2, vozidlo s netypickým designem a karoserii komplexně z hliníkových slitin. O další velký pokrok aplikace hliníkových slitin v automobilovém průmyslu se postarali inženýři Mazdy, kteří vyřešili způsob svařování hliníku s ocelí. Stalo se při výrobě vozidla Mazda RX-8, do této doby nebylo možné tyto dva materiály dostatečně kvalitně spojit. Používaly se pouze materiálové svorky, které nebyly dost

spolehlivé a odolné. Svůj způsob svařování nové hliníko-ocelové konstrukce si Mazda během dalších výzkumů pojistila více než dvaceti patenty. Hliník a nejrůznější hliníkové slitiny jsou v dnešní době ve fázi velkého boomu, výzkumy a výpočty dokazují, že 1 kilogram hliníku resp. hliníkové slitiny dokáže plnohodnotně nahradit 2 kilogramy oceli nebo litiny. Z výše zmiňovaných údajů je zřejmé, že čím více hliníku namísto oceli se použije, tím budou vozidla lehčí a tím klesne spotřeba paliva. Čím méně se spotřebuje paliva, tím méně bude vyprodukovaných škodlivin unikajících do ovzduší. V roce 2006 při produkci 65 milionu vozidel by došlo k úspoře 60 miliard litrů ropy a hodnota emisí CO₂ by byla snížena o 140 mil. tun [13,14].



Obr. 2 Relativní a absolutní podíly hliníku v některých evropských automobilech [15]

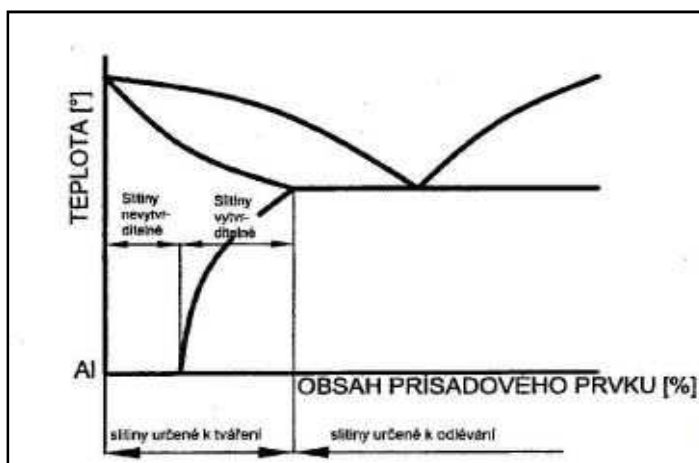
Například studie univerzity v Cáchách odhalila skutečnost, že pokud by se použilo na výrobu karoserie více hliníku než doposud, došlo by k rapidní úspoře hmotnosti, aniž by to ovlivnilo její pevnost a tím i k úspoře paliva. Tato studie poukazuje na skutečnost, že při použití vysokopevnostní oceli dojde k úspoře na hmotnosti pouze 11 procent. Použitím hliníku na karoserii a panely by se dosáhlo úspory až 40 procent. Karoserie včetně panelů přitom tvoří u dnešní generace automobilů až třetinu z celkové hmotnosti vozidla. Pokud se u automobilu dosáhne zmiňované úpravy hmotnosti, dojde k takové úspoře paliva, že by z ekonomického hlediska byla srovnatelná, ne-li výhodnější než u vozidla, které má hybridní pohon. Hybridní vozidla jsou totiž díky nutnosti „vozit“ s sebou velkou zátěž, tj. baterie, elektromotory a generátory, konstruovány převážně z ocelových materiálů. Oproti těmto „těžkým hybridům“ by měly také výše zmiňované automobily lepší jízdní vlastnosti. Studie se také zaměřila na aktuální využití hliníku v automobilkách a bylo zjištěno, že hliník je

následně mnohem více a lépe využitelný než například uhlíková vlákna nebo hořčíkové slitiny. Také je podstatně lépe recyklovatelný než uhlíková vlákna [7].

3.1.1 Slitiny hliníku použité v automobilovém průmyslu

Hliník sám o sobě má malou pevnost a odolnost, proto se využívá nejčastěji ve spojení s různými kovy a dohromady tvoří slitiny. Mezi nejčastěji používané příměsi materiálu patří měď, hořčík, křemík, mangan, lithium nebo zinek. Nejznámější a také nejpoužívanější slitiny hliníku jsou dural nebo silumin. „Měď ve slitinách hliníku zvyšuje jejich tvrdost a pevnost, hořčík zlepšuje odolnost proti korozi a mangan zvyšuje tvárnost a houževnatost slitiny.“ Hliníkové slitiny se vyrábějí za tepla, mezi metody tepelného zpracování patří žíhání a vytvrzování [16].

Slitiny hliníku se dělí do dvou základních skupin, slitiny určené ke tváření a slitiny pro odlévání. Diagram rozdělení hliníkových slitin je zobrazen na obr. 3 [17].



Obr. 3 Diagram rozdělení hliníkových slitin

3.1.2 Slitiny určené ke tváření

Slitiny Al-Mn

Tato slitina se používá především pro výrobu nádrží, díky své vysoké schopnosti odolávat korozi. Pevnost u této slitiny se pohybuje u hranice 200 MPa [17].

Díky přísadě hořčíku je dosahováno u tohoto typu slitiny velmi dobrých vlastností po tepelném zpracování, ale bohužel horších vlastností pro slévání. Z tohoto důvodu bývá velmi často přidáváno 1,5 hm % křemíku, pro zlepšení slévárenských vlastností. Poté se slitina stává vysoce odolná vůči korozi, má dobrou obrobitelnost a mechanické vlastnosti.

Slitiny Al-Cu-Mg-Mn

Slitina s obsahem prvků uvedených v nadpisu se nazývá Dural. Je to nejrozšířenější slitina určená ke tváření. V měkkém skupenství dosahuje tažností až 20% a mez pevnosti dosahuje 200 MPa. Po vytvrzení se mez pevnosti zvýší až na 400 MPa. Existují také „superduraly“, aby mohl být dural takto nazýván, používá se vysoké množství Mg pro dosažení vyšší pevnosti. Taková slitina po tváření a vytvrzení dosahuje pevnosti až 500 MPa. Dural má bohužel nízkou odolnost proti korozi, proto pokud je požadovaná vyšší odolnost, je nutné tuto slitinu plátovat čistým hliníkem. Z duralu se vyrábí široký sortiment plechů, tyčí nebo pásů, použití je jak v dopravním průmyslu, tak také na stavbu letadel [17].

Slitiny Al-Cu-Mg-Ni

Slitina s tímto složením má velký význam pro automobilový průmysl. Hlavní použití těchto slitin je u spalovacích motorů pro výrobu součástí, jako jsou písty nebo ojnice. Velkou předností jsou dobré mechanické vlastnosti, dobrá tvařitelnost a vysoká mez pevnosti, až 400 MPa.

Slitiny Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu

Tyto slitiny dosahují vůbec nejvyšší pevnosti v tahu z výše uvedených a to až 600 MPa. Patří do skupiny vytvrditelných slitin. I přes to, že nemají dobrou korozivzdornost, jsou velmi využívány jak v leteckém, tak v automobilovém průmyslu na vysoce namáhané součástky [17].

Slitiny Al-Mg-Si

Obsah přísadových prvků u těchto slitin nepřekračuje 1,5%. V porovnání se slitinami, které využívají jako přísadový prvek měď, jsou podle mechanických vlastností, o něco málo horší. Mez pevnosti v tahu, při vytvrzeném stavu dosahuje 350 MPa. Pokud bychom chtěli slitiny Al-Mg-Si posuzovat z hlediska korozivzdornosti, mají tyto slitiny podstatně lepší výsledky než například duraly. Díky svým vlastnostem jsou používány nejen v automobilovém průmyslu, ale také na profily využívané ve stavebnictví a dále se s nimi můžeme setkat také u bytových doplňků [18].

3.1.3 Slitiny určené k odlévání

Slitiny Al-Cu

Patří mezi slitiny binární. Pro dosažení potřebné struktury se k tomuto spojení hliníku s mědí používají další prvky jako křemík nebo nikl. Hliníková slitina s přísadou mědi má velmi široký teplotní interval krystalizace, který působí problémy v oblasti slévárenských vlastností (zabíhavost kovu, tvorba trhlin). Důležité je pro tento druh slitin použití povrchové ochrany, jelikož přítomnost mědi snižuje odolnost vůči korozi. Z této slitiny se vyrábějí převážně hlavy válců nebo písty větších rozměrů.

Slitiny Al-Si-Cu

Ve srovnání se siluminy má tato slitina při zvýšených teplotách lepší mechanické vlastnosti a lze ji dobře vytvrzovat. Z tohoto důvodu se skvěle hodí pro tenkostěnné odlitky, jež jsou hodně namáhané. Bohužel tato slitina má také mnoho nedostatků, mezi které patří například částečně zhoršená slévateľnost, snížená odolnost proti korozi, nebo náchylnost ke vzniku trhlin. V automobilovém průmyslu je tento materiál používán pro výrobu bloků, klikových hřídelí, pístů či hlav motorů [17].

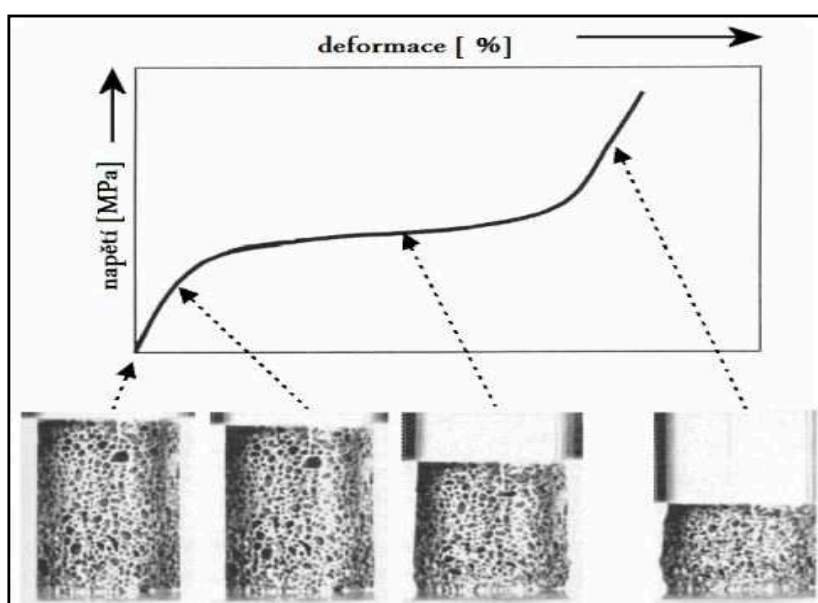
Slitiny Al-Cu-Ni

Tato slitina je velmi rozšířená pro výrobu součástek, které musí odolávat poměrně vysokým teplotám (do 300 °C). Kromě žáruvzdornosti a žárupevnosti je další velkou předností této slitiny velká rozměrová stálost. Nejčastější použití je pro výrobu pístů spalovacích motorů [17].

3.1.4 Hliníková pěna

Hliníková pěna, se jakožto materiál řadí ke kovovým pěnám. Kovové pěny jsou materiály s buňkovou strukturou, která je složena z kovového skeletu a pórů, jež jsou vyplněny plynem. Póry tvoří více než 70% celkového objemu materiálu. Pro svou strukturu jsou tyto pěny vyhledávaným materiálem. Jsou totiž schopny absorbovat velmi velkou nárazovou energii a to bez ohledu na její směr. Mezi další přednosti patří schopnost vysoké pohltivosti zvuku, nehořlavost a dobrá tepelná stabilita. Vlastnosti pěn ovlivňuje jejich struktura. Velmi záleží na tvaru, velikosti, rozměrové homogenitě, organizaci a hustotě pórů. Dalším důležitým prvkem ovlivňujícím vlastnosti je tloušťka stěn kovového skeletu. Tyto pěny jsou vyráběny z mnoha různých materiálů (kovů). Mezi nejznámější patří pěny z hliníku, titanu, hořčíku, olova, mědi, železa, niklu a dalších. V dnešním průmyslu je nejpoužívanější

právě hliníková pěna a to pro vlastnosti, které hliník má. Hlavními výhodami je především korozní odolnost, nízká měrná hustota, vysoká tuhost a odolnost. Pěnový hliník se vyrábí buďto z čistého hliníku nebo hliníkových slitin. Hliníkové pěny mají ve srovnání s kompaktním materiálem stejného chemického složení hodně odlišné vlastnosti. Pěny mají podstatně lepší zvukovou pohltivost, ale horší elektrickou a tepelnou vodivost. Tyto materiály jsou moderní a v dnešní době velmi používané v automobilovém průmyslu z důvodu vysokého tlakového zatížení. Průběh napětí vůči deformaci je obecně vyjádřen v napětíové křivce na obr. 4 [19].



Obr. 4 Napětíová křivka pěnového hliníku

3.1.5 Aplikace hliníku v automobilovém průmyslu

Hliníkové prvky se v automobilech vyskytují ve velkém množství a to jak v interiéru, tak v exteriéru.

Interiérové hliníkové prvky jsou části sloupků řízení, části palubní desky, navíječe pásů, schránky pro uložení airbagů, odlitky částí dveří, části sedadel, rámy dveří, odlitky pro uchycení řadicí páky a ruční brzdy, držák zpětného zrcátka, úchyt antény.

Exteriérové hliníkové prvky jsou karoserie, střešní panely, ráfky kol, chladič a jeho součásti, motorové části – olejová vana, vodní pumpa, ventilové víko, hlava válců, písty, blok motoru, sací potrubí, skříň převodovky, kostra alternátoru, tělo startéru, držáky motoru, odlitky pro upevnění stěračů, tlumičů, vodiče napětí a mnoho dalších.

Karoserie

Karoserie a rámy byly již zmíněny výše a je uvedeno několik konkrétních příkladů. S hliníkovou karoserií přišla automobilka Audi, ale v dnešní době už velká většina automobilek staví na jejich základech. Jedním z nejnovějších vozidel, které se může pochlubit hliníkovou karoserií je Ferrari 620GT, která je na obrázku č. 5 [20].



Obr. 5 Hliníková karoserie Ferrari 620GT [20]

Abych neopomněl již zmiňovaného průkopníka hliníkových vozidel, jako nejlepší příklad se jeví automobil Audi A2 na obrázku č. 6. Model A2 se bohužel přestal vyrábět v roce 2005, jelikož cena nasazená díky použití zmiňovaného materiálu byla pro mnoho lidí nepřijatelná a vozidlo se neprodávalo tak, jak by si Audi představovala.



Obr. 6 Audi A2, celohliníkový automobil

Kola

Hliníková kola v dnešní době již neodmyslitelně patří ke všem vozidlům od střední třídy a výše. Jsou oblíbená pro svůj design, který je velmi variabilní a rozmanitý, ale i z praktických důvodů v podobě snížení hmotnosti. Díky tomu, že jsou lehčí než standardní ocelové disky, je možné používat větší průměry a šířky disků. Čím větší šířka kol, tím se zvyšuje stabilita vozidla v zatáčkách a také jízdní komfort. K už tak velkým výhodám patří ještě velká odolnost vůči korozi, což je u automobilových kol velmi důležité. Na kola totiž denně působí veškeré povětrnostní vlivy v podobě deště nebo sněhu a mechanické opotřebení či poškození a to například otěr o obrubníky. Pokud dojde k nějakému poškození či odření na povrchu hliníkové kola, vlastnosti hliníkové sliny zajistí svou následnou pasivací poškozeného povrchu korozní odolnost. Oproti tomu, pokud dojde k tomuto poškození u klasického ocelového disku, naruší se antikorozní nátěr a v místě defektu a jeho okolí se začne tvořit rez. Výroba hliníkových litých kol probíhá nejčastěji ze slitiny Al-Si-Mg nebo Al-Si-Cu [19]. Ukázka hliníkového kola je na obrázku č. 7 [21].



Obr. 7 hliníkové kolo [21]

Blok motoru

Využití hliníkových slitin pro výrobu bloku motoru se používá především z důvodu tolikrát zmiňované úspory hmotnosti, výborným mechanickým vlastnostem a v neposlední řadě také poměrně nízkým výrobním nákladům. Důležitá je také snadná obrobitelnost, která podstatně zjednodušuje výrobu a úpravu bloku do finální podoby [19].

Písty

Píst (na obr. 8) je nedílnou součástí každého moderního spalovacího motoru. Jelikož motory jsou jak dieselové, tak benzínové, jednoválcové či víceválcové, pro osobní nebo nákladní vozidla, je pro dosažení optimálního výkonu každého motoru nutné, aby písty byly pro každý motor vyrobeny v podstatě na míru. Jedná se o to, z jakého materiálu budou vyrobeny a jaká bude jejich konstrukce – velikost a tvar. Slitiny, ze kterých se písty nejčastěji vyrábějí, se nazývají siluminy. Obsah křemíků v těchto slitinách dosahuje 12-18%. Nejpoužívanější metodou pro výrobu bývá gravitační lití, kdy je slitina odlévána do kovových forem. Odlévaná slitina prochází procesem odplynění a modifikování, po vychladnutí a vytvrzení odlitku proběhne obrobení do konečné podoby a je provedena úprava povrchu dle požadavků na mechanické vlastnosti, např. eloxace, cínování nebo fosfátování. V konečné fázi je ještě provedena kontrola rentgenem na přítomnost trhlin nebo prasklin [19,22].



Obr. 8 Hliníkový píst motoru [22]

Automobilové chladiče

Chladič je zařízení ve vozidle, určené k napomáhání teplotní regulace v dané oblasti. Jedná se nejčastěji o vodní chladič, do kterého je přiváděna horká voda a díky ochlazování jeho žebrování dochází k ochlazení média uvnitř chladiče. Dále jsou ve vozidlech s turbomotory používány mezichladiče (intercoolery), jež mají za úkol ochlazovat stlačený teplý vzduch přicházející od turbodmyhadla, proudící do válců. Posledním a ne méně známým prvkem vozidel vybavených klimatizací, je chladič klimatizace (kondenzátor) pro regulaci teploty.

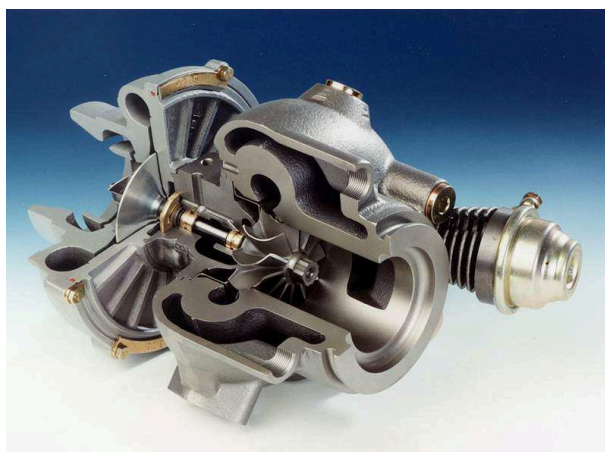
Elektrické vodiče

Měď, která je běžně používána v kabeláži automobilů, se díky své stále vzrůstající ceně a velké hmotnosti se pomalu stává nevyhovující. Elektrická vodivost hliníku sice

dosahuje pouze poloviny vodivosti mědi, ale je o třetinu lehčí. Aplikace hliníku jako vodičů již probíhá v různých průmyslových odvětvích, například v leteckém průmyslu u letadla typu Airbus A380. S největším nahrazováním se však počítá v automobilovém průmyslu, kde se nejvíce vyplácí ho používat u vozidel s elektrickým pohonem, tedy u elektromobilů či hybridů. Ke zjištění, že pokud by bylo na automobilové palubní desce použito namísto mědi hliníku, došlo by k úspoře hmotnosti asi o 10 kilogramů. První zmínka o kabeláži v hliníkovém provedení u automobilu vede k Toyotě. V modelu Verso-S byl tento materiál použit do dveří. Automobilka BMW nezůstává pozadu a hliníkovým páskem ve svých vozech spojuje akumulátor se startérem. Aby nezůstalo pouze u kladů, tento proces nahrazování má i záporné stránky. Například z důvodu nižší elektrické vodivosti je nutné použití drátu s větším průřezem. Pro dosažení stejné kvality vodivosti jako u mědi je třeba navýšení průřezu o 67%. Dalším negativem je spojení konce hliníkového kabelu s některým dalším dílem, či zásuvkou ve vozidle. Není totiž možné použít slisovaný spoj jako je tomu u mědi [23].

Turbodmychadla

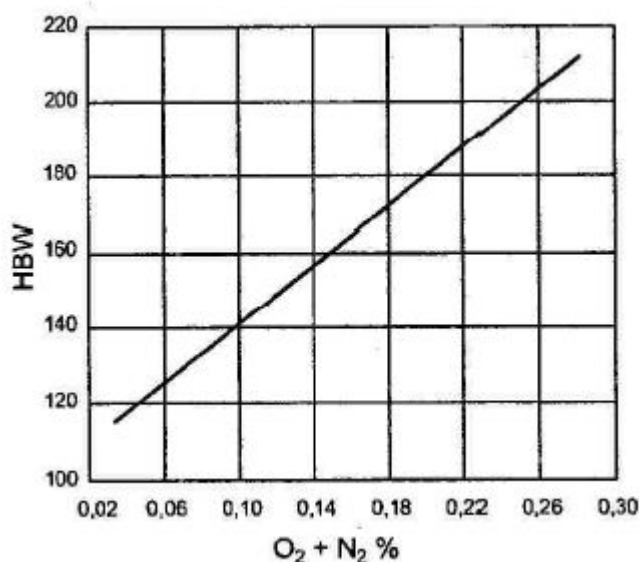
Turbodmychadlo (na obr. 9) je prostředkem realizace přeplňování motorů u automobilů. Přeplňováním je myšleno zvýšení množství směsi (vzduchu a paliva) ve spalovacím prostoru. Výsledkem je zvětšení točivého momentu, snížení spotřeby a měrné hmotnosti. Konstrukce turbodmychadla není nijak složitá. Skládá se z kompresoru a výfukové turbíny, obě tyto části jsou uloženy na společném hřídeli. Výfukové plyny přicházejí do turbodmychadla a roztáčí turbínu, jejíž druhá část stlačuje vzduch, který je pod tlakem dopraven do spalovacích prostor. Teplotní rozdíl mezi kompresorem a turbínou dosahuje až 1000°C a z tohoto důvodu je důležité, aby byly použity odolné materiály. Turbínové kolo bývá vyrobeno převážně z niklové slitiny, oběžné dmychadlové kolo a skříň dmychadla je z hliníkové slitiny. Skříň turbíny a ložisek se pak vyrábí z temperované šedé litiny [24].



Obr. 9 Příklad řezu stěny turbodmychadla z hliníkové slitiny[24]

3.2 Titan

Titan byl objeven již v roce 1791 Viliamem Gregorem, chemikem anglického původu. Počátku komerčního použití se ale dočkal až v roce 1948. V této době bylo experimentálně zkoumáno více než 100 druhů slitin, ale jen pouze několik z nich se dostalo do výroby a je používáno i v současné době [25]. Čistý titan je stříbrobílý kov, který je čtvrtým prvkem nejvíce se vyskytující v zemské kůře. Mechanické vlastnosti titanu jsou v podstatě srovnatelné s vlastnostmi oceli, s tím rozdílem, že titan má o 40% nižší měrnou hustotu. Tento materiál vyniká svou výjimečně vysokou odolností vůči korozi (větší než korozivzdorná ocel), dokonce i v kyselém prostředí a tím tedy odpadá problémy spojené s ochranou povrchu. Titan je jediným kovem, který je schopen odolávat vlhkému chlóru a chloridům. Na jeho strukturu působí agresivně některé kyseliny: fluorovodíková, solná, fosforečná a sírová. K dalším vlastnostem patří nízká tepelná vodivost, nízká tepelná roztažnost a vysoký měrný odpor. K jeho velmi negativní vlastnosti patří reaktivita titanu za zvýšené teploty s mnoha plyny, mezi které patří především dusík, kyslík a vodík. Tyto plyny se potom v krystalové struktuře titanu interstiticky usazují. Atomy plynů poté začnou blokovat kluzné roviny a dojde ke zpevnění mřížky. Toto zpevnění bude mít za důsledek zvýšení tvrdosti, což je zobrazeno na obr. 10, vzrůst křehkosti a pokles plasticity materiálu.



Obr. 10 Graf závislosti zpevnění titanu v závislosti na obsahu plynů[17]

Je důležité, aby byly dříve zmiňované příměsi obsaženy v materiálu na co nejnížší úrovni a to už od procesu tavení. Proto se pro tento proces používá přetlaková argonová

atmosféra nebo vakuum. Titan je tvářitelný válcováním jak za tepla, tak i za studena a hrubnutí zrna u titanu nehrozí ani za vysokých teplot. Titan je v některých případech složitě obrobitelným materiálem, hlavně co se týče řezání závitů a podobně. Mezi mnohem lepší způsoby obrábění patří broušení, soustružení nebo frézování [17].

Titan a jeho slitiny mají pro své vynikající vlastnosti místo jak ve zdravotnictví, tak v leteckém a automobilovém průmyslu. Velkou nevýhodou tohoto materiálu je bohužel jeho velmi vysoká cena a také nízká otěruvzdornost. Z tohoto důvodu není vhodné používat titan na místech, kde by vznikalo tření s jiným materiálem, jelikož by hrozilo zadírávání součástí z něj vyrobených. Naopak použití titanových slitin je vhodné tam, kde je potřeba, aby měl materiál dostatečnou pružnost, kdy bude nutné použití v korozním prostředí nebo potřeba práce za zvýšených teplot.

3.2.1 Titanové slitiny

Slitiny titanu jsou zpracovávány dvěma základními způsoby, sléváním nebo tvářením. Složení slitin se díky těmto způsobům zpracování částečně liší, jelikož při odlévání titanové slitiny reagují s vyzdívkami pecí nebo s formami. Z tohoto důvodu tvářené součásti dosahují lepších mechanických vlastností než odlitky [17].

Tyto slitiny se dají rozdělit do tří skupin z pohledu struktury:

- a) slitiny s fází α
- b) slitiny se stabilizovanou strukturou fáze β
- c) slitiny s dvoufázovou strukturou $\alpha+\beta$

Slitiny s fází α

Nejdůležitější legurou u těchto jednofázových slitin α je hliník, ve spojení s titanem tvoří tuhý roztok, kde je obsah hliníku až 26 hm. %. Tato hodnota je ale pouze teoretická, jelikož obsah hliníku u slitin pro běžné použití nepřesáhne 7 hm. % a to z důvodů velké křehkosti nebo špatné tvařitelnosti jak za tepla, tak za studena. Pokud je obsah hliníku v malé míře, stává se slitina dobře tvařitelnou. Titanové slitiny s jednou fází vynikají dobrými mechanickými vlastnostmi až do 600°C. Přidáním cínu je možné dosáhnout zvýšení hodnoty mechanických vlastností. V této skupině je nejznámější slitina **TiAl5Sn2,5**, která dosahuje pevnosti v tahu až 860 MPa a je určena pro použití za nízkých teplot [17,26].

Slitiny s fází β

Součástí struktury slitin s fází β je často malý podíl fáze α . Jako legura se u těchto slitin používá železo, vanad, molybden, chrom nebo jejich nejrůznější kombinace. Výhodou těchto slitin je především vysoká odolnost vůči korozi, dobrá tvařitelnost za studena (do teploty 350°C) a vysoká pevnost. Další velkou výhodou je dobrá svařitelnost, ale sváry po zpracování na vyšší pevnost jsou málo plastické. Zástupcem této skupiny je **TiAl6V4**. Uvedená slitina po tepelném zpracování dosahuje pevnosti v tahu až 1100 MPa a díky svým vlastnostem je velmi často používaná pro namáhané součásti [17,26].

Slitiny s dvoufázovou strukturou $\alpha+\beta$

Slitiny s touto dvoufázovou strukturou patří mezi nepoužívanější. Tepelné zpracování je nástrojem pro ovlivňování jejich vlastností. V kategorii titanových slitin patří mezi ty s největší pevností. Velká pevnost při teplotě okolí a dobrá tvařitelnost za studena patří k největším kladům. Bohužel tyto slitiny mají i své stinné stránky, mezi které patří pokles pevnosti při vyšších teplotách a také horší svařitelnost než u slitin s fází α . Kromě hliníku se u tohoto typu slitin používá jako legura také mangan, molybden, chrom, niob, vanad nebo cín. Příkladem je slitina typu **TiV10Fe2Al3**, která je schopna po tepelném zpracování dosáhnout pevnosti v tahu až 1400 MPa [17,26].

Slitiny Ti-Ni

Slitiny se složením titan-nikl jsou známy také pod názvem „NiTinol“ a obsahují až 55% příměsí, což je v tomto případě nikl. Slitiny Ti-Ni patří ke slitinám s tvarovou pamětí, to znamená, že po jisté elastické deformaci se vrátí zpět do počátečního stavu. Největší předností tedy je to, že výrobek ze slitiny se na potřebné místo může aplikovat v deformovaném stavu pro lepší manipulaci. Po uložení na požadovanou pozici součást ohřejeme na teplotu, při které se roztáhne nebo jiným způsobem dosáhne požadované podoby. Využití kromě automobilového průmyslu je také ve velké míře ve zdravotnictví pro různé fixátory, ortopedické a chirurgické nástroje a pomůcky [26].

Slitiny Ti-Al

Titanové slitiny, které jsou ve spojení s vysokým obsahem hliníku (až 50%) a dalšími kovy, mezi které patří například vanad, chrom, niob nebo tantal, jsou nazývána intermetalika. Jsou známy také pod názvem aluminidy. Slitiny s tímto složením dosahují vysoké žárupevnosti, žáruvzdornosti a vynikají nízkou hustotou. Vhodné použití je tedy tam, kde se vyskytuje mechanické zatížení v kombinaci s vysokými teplotami. Díky těmto vlastnostem je možné jejich použití mimo jiné i v leteckém průmyslu pro výrobu součástí tryskových motorů letadel [26]. Vědci v oboru materiálového inženýrství se zabývali už od 70. let 20. století otázkou, zdali by se mohli srovnávat z pohledu houževnatosti titanové aluminidy s niklovými superslitinami. Pro toto zkoumání byly adekvátní pouze dvě slitiny TiAl a Ti₃Al a to proto, že mají nižší hustotu než běžné titanové slitiny, dokážou si uchovat svou pevnost i za velkých teplot a mají vysokou teplotu tavení. Bohužel pro svou malou tažnost při běžné pokojové teplotě a nízkou lomovou houževnatost zůstává možnost použití těchto materiálů omezena [27].

3.2.2 Aplikace titanu v automobilovém průmyslu

Titan jako materiál se v dnešních vozidlech vyskytuje nejen v podobě jednotlivých součástek v motoru, ale je používán také pro součásti zavěšení náprav nebo pro různé konstrukční díly jako například šrouby. Použitím titanu si výrobci vozidel slibují podobně jako u hliníku jisté úspory hmotnosti a především při použití u motorových dílů zvýšení mechanických vlastností, snížení tření a spotřeby paliva. Největší důležitost je kladena na prodloužení životnosti pohonného agregátu. Bohužel použití titanových slitin obecně je velmi drahá záležitost, proto není zatím reálné použití pro sériově vyráběné automobily [28].

Ojnice

Tato součástka je nedílnou částí každého pístového spalovacího motoru. Je to člen, který převádí přímočarý pohyb pístu na pohyb rotační, jež je přesouván na klikovou hřídel. Ojnice je složena z několika částí, je důležité je popsat z důvodu rozdílných zatížení a namáhání v každé z nich. Trupem ojnice je takzvaný dřík, na němž je hlava ojnice, ojniční oko, pouzdro oka a ojniční šrouby, které spojují dělené části hlavy. Nejčastější metodou výroby ojníc je zápusťkové kování. Jsou ale i moderní metody, mezi které patří například spékání kovových prášků. Prášek se v přesném složení a množství nasype do formy, kde je stlačen lisem a tím se jeho teplota zvýší natolik, že se jednotlivá kovová zrnka začnou spékat. Výsledkem je pak přesně vyrobený díl. Titanové ojnice (obr. 11) se používají pouze u

sportovních automobilů a závodních motorů, důvodem je především špatná obrobitelnost a v návaznosti na to také velmi vysoká cena. Běžným materiálem na výrobu ojníc je tak pro běžné sériové auto slitina hliníku legovaná mědí a niklem [29].



Obr. 11 Titanová ojnice pro automobil Porsche [29]

Ventily

Ventil (obr. 12) je další ze součástí nezbytných pro činnost klasického spalovacího motoru. Je součástí ventilového rozvodu motoru. Jeho úkolem je regulace (uzavření nebo otevření spalovacího prostoru) průtoku plynů nebo zápalné směsi ve válci. U běžných motorů se používají 2 základní druhy ventilů. Ventily sací a ventily výfukové. Každý z těchto ventilů se vyrábí z částečně odlišných materiálů, důvodem je rozdílné tepelné namáhání. Pro sací ventily se používá slitina Ti-6Al-4V/TiB běžná titanová slitina, jelikož u sacích ventilů není nutné použití vysokoteplotních slitin z důvodu nižší pracovní teploty. Na výfukové ventily se však používá slitina Ti-Al-Zr-Sn-Nb-Mo-Si/TiB, která je vysokoteplotně odolná a známá také pod názvem TIMETAL 834.



Obr. 12 Titanové ventily [30]

Prvním výrobcem, který přišel s návrhem použití titanových ventilů do sériově vyráběného vozu a svůj návrh proměnil ve skutečnost, byla automobilka Toyota. Stalo se tak u modelu Altezza v roce 1998, které bylo vyhlášeno automobilem roku. Tento vůz byl

vybaven 16-ti ventilovým motorem, kde polovina z nich byla sacích a druhá polovina výfukových. Při použití titanových sacích i výfukových ventilů bylo dosaženo úspory hmotnosti oproti běžným ocelovým ventilům přes 250 gramů [28].

Ventilové pružiny

Při výrobě těchto součástek je používáno nejčastěji titanových slitin s β fází. Ventilové pružiny z tohoto materiálu mají pro své vysoké výrobní náklady uplatnění pouze u vozidel, které jsou určeny pro závodění nebo motorsport. Vysokou výrobní cenu zapřičiňuje to, že pružiny se vyrábí z drátů ze zmiňované titanové slitiny a to s malým průměrem 2-3 mm. Při použití pružin ve spojení s běžnými ocelovými ventily se dá dosáhnout úspory hmotnosti až 40% [28].

Pružiny

U moderních vozidel, jak již bylo několikrát zmiňováno, hraje hlavní roli nízká spotřeba, která do velké míry závisí na hmotnosti vozidla. Pro dosažení větší účinnosti a efektivnosti je určitě lepší snižovat hmotnost u pohyblivých částí motoru než na karoserii a podvozkových částech, avšak nízký modul pružnosti a až 40% úspora váhy zcela nahrává použití u pružin pro odpružení. Díky skvělému spojení různých vlastností, kterými titan disponuje a mezi které patří nízká hustota, velká síla a nízký modul pružnosti je možné vyrobit pružiny v podstatě „na míru“. Pružiny, které jsou vyrobeny z titanových slitin, vynikají nižší výškou (50-80%), tj. menším počtem závitů a především menší hmotností a to až o 70% než u běžných ocelových pružin (obr. 13). Výroba titanových pružin probíhá buďto navíjením za studena nebo za tepla a je dokončována kuličkováním, kvůli dosažení konečné pevnosti povrchu. Mimo automobilový průmysl se tento typ pružin používá v letectví [28].



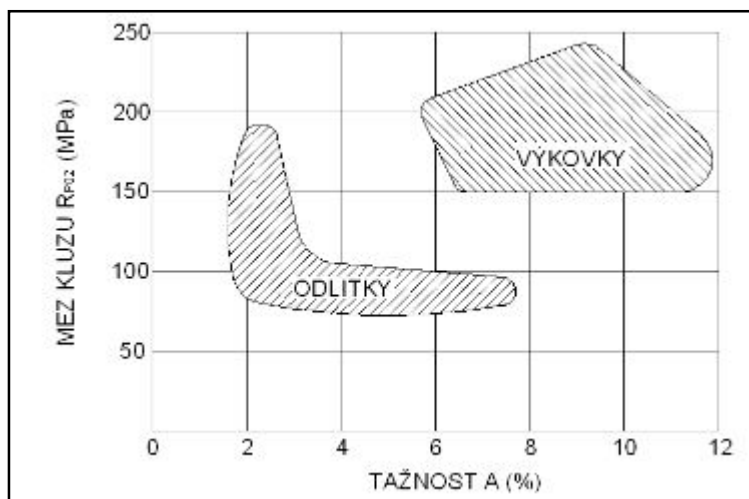
Obr. 13 Srovnání konstrukce pružin z titanu a oceli [31]

Další titanové prvky v automobilech

Titan se v automobilech vyskytuje v mnoha dalších součástech, ve větší či menší míře. Za zmínku jistě stojí výfukový systém, kde se titan dá použít ale pouze jen v zadních částech výfuku. Důvodem tohoto omezení je příliš vysoká teplota v místech, kde je výfuk napojen k motoru. Výjimku tvoří použití titanu na rotor v turbodmychadlech. Dalšími aplikacemi jsou i motorové díly, mezi které patří misky nebo sedla ventilů. Použití tohoto materiálu je možné také pro některé menší díly brzdových systémů, mezi které patří příruby brzdových trubek či vodících kolíků pro brzdové třmeny nebo destičky.

3.3 Hořčík

Hořčík neboli magnesium je lesklý, poměrně lehký kov stříbrně-bílé barvy. V přírodě se jako samostatný prvek nevyskytuje, pouze ve sloučeninách jako dvojmocný kation. Prvně jej pomocí elektrolýzy připravil roku 1808 Sir Humphry Davy. Hořčík je v průmyslu více než čistý kov používán spíše ve formě slitin. Mezi nejznámější patří dural, elektron nebo magnalium [32]. Automobilový průmysl je významným odběratelem hořčíkových slitin jelikož tyto slitiny mají o 25% nižší hmotnost než slitiny hliníku a až o 75% než ocel. Pro konstruktéry je tato vlastnost vítaným prvkem. Do nedávna se hořčíkové slitiny vyráběly z ekonomických důvodů pouze tlakovým litím. Z důvodu zvyšování pevnosti se namísto součástí vyráběných z oceli přechází na výrobu kováním. Na obrázku 14 jsou zobrazeny mechanické vlastnosti odlitků a výkovků z hořčíkových slitin [33].



Obr. 14 Mechanické vlastnosti odlitků a výkovků Mg slitin[33]

K přednostem hořčíku patří dobrá svařitelnost metodou obloukového svařování v ochranné atmosféře a skvělou obrobiteľností. Hořčík má ale vedle nesporných výhod také nevýhody, mezi které patří nízká korozivzdornost, nízká odolnost za vysokých teplot a vysoká reaktivnost. K dalším záporným vlastnostem patří nízká vrubová houževnatost a také vznik dvojčatění ve struktuře při tepelném zpracování. V roce 2008 připadalo průměrně na běžný osobní automobil 12 kg hořčíku [33,34].

3.3.1 Slitiny hořčíku

Hořčík jako materiál je z velké části používám pro výrobu slitin hojně používaných jak v leteckém průmyslu, tak v dopravě [17]. K velkým přednostem hořčíkových slitin patří nízká měrná hmotnost ($1760\text{--}1990\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a vysoká měrná pevnost. Hořčíkové slitiny se dají dělit podle způsobu výroby, mezi které patří např. kování, protlačování, válcování, volné nebo tlakové lití. Hlavní je ale dělení slitin pro lití nebo tváření [34]. U některých hořčíkových slitin se jako legující příměs používá hliník, slitiny s kombinací hliník-hořčík jsou popsány výše.

3.3.2 Slitiny hořčíku pro odlévání

Mg slitiny pro odlévání patří k nejběžněji používaným. Nejznámější slitinou spadající do této kategorie je elektron [17]. Velká většina těchto slitin je vyráběna tlakovým litím, kdy výhodou je použití tohoto typu odlévání u tvarově složitějších výrobků, kde je požadována vysoká rozměrová a tvarová přesnost odlitků [34].

Slitiny Mg-Al-Zn

Slitina s tímto označením je známá jako elektron, který je nepoužívanější slitinou hořčíku vůbec a pro automobilový průmysl v podstatě jednou z mála používaných. Největší zpevňující účinek v této slitině má hliník, jehož obsah se pohybuje v rozmezí 2-9 hm.%. Zinek má sice dobrou rozpustnost v hořčíku, ale jeho obsah ve slitině bývá malý z důvodu negativního působení na houževnatost. Nejvíce rozšířené jsou slitiny se složením **MgAl8Zn1** označované také jako **AZ81** a **MgAl9Zn1** známé pod označením **AZ91**. Obě tyto slitiny bývají oblíbené pro výrobu automobilových kol z lehkých slitin. Tyto zmíněné slitiny jsou velmi odolné vůči korozi [34].

3.3.3 Slitiny hořčíku pro tváření

Nejčastěji používanými legurami pro slitiny určené ke tváření je hliník a zinek někdy i mangan. Výjimečně se používá také zirkonium, křemík či lithium [17]. Tvářecí procesy jsou

prováděny zásadně za tepla a to v teplotním rozmezí 360 – 450°C v závislosti na použité tvářecí metodě [34].

Slitiny Mg-Sm, Mg-Er

Slitiny, které jsou legovány samariem nebo erbiem, jsou prozatím stále ve vývojové fázi, ale jejich dosavadní známé vlastnosti mají potenciál pro použití v mnoha oblastech, mezi které patří mimo automobilový průmysl jaderná energetika, raketová či letecká technika, ale i optika [34].

Slitiny Mg-Li

Slitiny hořčíku s lithiem patří k novodobým materiálům a tak jsou jejich vlastnosti ještě ne zcela ověřeny. Přítomnost lithia ještě více snižuje měrnou hmotnost hořčíku a to je předpoklad, který tuto slitinu doslova předurčuje jako skvělý konstrukční materiál především pro letecký průmysl. Ten vyniká především dvakrát větší pevností než obvyklé hořčíkové slitiny [8,34].

3.3.4 Aplikace hořčíku v automobilovém průmyslu

Zaručeně největší spotřeba hořčíku na automobilech připadá na kola z lehkých slitin, přičemž o hliníkových kolech už bylo něco napsáno výše v kapitole o hliníku. Hořčíkové slitiny mají v automobilovém průmyslu ale i další využití.

Ventilové víko

Ventilové víko slouží jako uzávěr na hlavu motoru. Je to konstrukčně složitá součást, pro kterou je použití hořčíkových slitin velmi výhodné. Ventilové víko je vlastně tenkostěnný odlitek s mnohými záhyby a otvory, který může být velmi úspěšně vyroben ze slitin hořčíku.

Jádro volantu

Dalším příkladem aplikace těchto slitin hořčíku je jádro volantu. Je to v podstatě kostra volantu, na které je nabalená výstelka v podobě pěnové gumy a v některých případech ještě obšitá kůží. Hořčíkové slitiny byly na tuto součást použity, například ve vozidlech Volkswagen Lupo nebo Golf [8].

Další aplikace hořčíkových slitin v automobilovém průmyslu

Ve vozidle je mnoho prvků z těchto slitin, které se používají právě pro jejich nízkou hmotnost. Patří mezi ně jak motorové díly, například bloky, olejové vany, skříně olejových čerpadel, nosníky nebo skříně převodovek, tak další díly interiérové, exteriérové či konstrukční. U prvků v interiéru stojí za zmínku sedadlové komponenty, konzoly pedálů, nosník přístrojové desky nebo hřídelová část volantu. K dílům exteriérové části patří různé části karoserie jako plechy na kapotu, dveře nebo zavazadlový prostor, vyráběné metodou hlubokého tažení. Z konstrukčních částí lze vyzdvihnout okenní rámy, podvozkové části nebo rámy sedadel [8].

3.4 Ostatní materiály používané pro automobily

Automobil sám o sobě je tvořen mimo materiály, které jsem již výše zmínil i mnohými dalšími. Každé auto vyráběné v době, kdy tato práce vznikla, obsahuje spousty ověřených a dlouhodobě používaných materiálů, ale i nově zaváděných moderních materiálů s ohledem na jejich jedinečné vlastnosti. Tyto materiály by se daly rozdělit na dvě větší skupiny: materiály konstrukční a na materiály doplňkové. Do první skupiny bezpochyby spadá ocel. Ano je možné ji dnes nahradit mnohými jinými materiály, ale ne všude, jelikož i ocel má své vlastnosti, pro které je nenahraditelná. Dalším materiálem je nikl, který je ve velké míře používán na rotory turbodmychadel jak pro osobní, tak pro nákladní automobily. Nedílnou součástí je také měď, nejčastěji používaná na kabeláže a to nejen v automobilovém průmyslu, používají se ale také slitiny mědi jako bronzы a mosazi, které jsou také velmi rozšířenými materiály. Do druhé skupiny, která by se v podstatě dala označit jako „výstroj“ vozidla, spadají materiály, jako je sklo, které je nejčastěji ve vozidlech použito v podobě oken, světel či žárovek, dále také textil nebo různé druhy kůže pro potahy sedadel či čalounění dveří. Z oblasti textilu se ještě jistě dá zmínit kobercová tkanina, která je používána v podstatě v každém autě. Jako další nepostradatelný prvek u automobilu se nekompromisně jeví guma a to v různých podobách. Nejčastěji je pryž na vozidle k vidění v podobě pneumatik, různých těsnění, gumových koberečků nebo je součástí palubních přístrojů a ovládacích prvků. Posledním avšak ne méně podstatným materiálem spadajícím do této skupiny jsou plasty. Plasty mají pro své různorodé vlastnosti velmi širokou oblast použití. Jelikož má plast tak rozličné vlastnosti, je jeho použití možné jak v interiéru, exteriéru, tak i v okolí motorového prostoru nebo dokonce na samotném pohonném agregátu. V interiéru můžeme plast vidět v podobě palubní desky, ovládacích panelů, držáku zpětného zrcátka, středového tunelu, obložení dveří, dokonce některé části nebo celé pedály (spojkový, plynový nebo oba dva).

Z exteriérových prvků bývají na očích nejvíce plastové nárazníky, držáky zpětných zrcátek a části stěračů. K méně viditelným potom patří plastové podběhy kol nebo kryty motoru. V motorové části je možné zaznamenat použití plastu třeba na chladiči, v podobě různých nátrubků, držáků nebo vedení vzduchu. Zkrátka tam, kde není vysoké teplotní namáhání.

Jelikož plast má velký potenciál, je možné, že do budoucna se plast stane také konstrukčním materiálem pro výrobu automobilů. V 70. letech 20. století byl obsah plastů v automobilech pouze kolem 6%, v dnešní době je podíl plastů mezi 12-15%. Do roku 2020 se počítá s navýšením použití plastů na čtvrtinu celkové váhy. S využitím plastů se počítá ale nejen na konstrukční prvky. Některé plastové prvky už se používají nyní a to jako součásti pro ochranu posádky a chodců, a to v podobě speciální výztuhy nárazníku u vozidla Opel Insignia a speciální výztuhy v prostoru opěrky krční páteře použité ve vozidlech BMW. Nebude trvat dlouho a dočkáme se u běžných vozidel i plastových kol (obr. 15). Vědci tvrdí že technologie pro větší rozsah použití plastů jsou již prozkoumány a je pouze na výrobcích automobilů, kdy tento materiál začnou používat ve větší míře [35].



Obr. 15 Plastové kolo[35]

4. Možnosti následného využití neželezných kovů z autovraků

Když je automobil nový, je bezpochyby pro každého majitele předmětem velkého zájmu, ale žádné vozidlo není „nesmrtelné“ a tak přijde chvíle, kdy automobil zkrátka doslouží a je třeba jej zneškodnit. Zákon takové vozidlo definuje jako autovrak. V podstatě se jedná o odpad a proto je nutné s ním tak zacházet. I když v České republice je zaveden systém pro zpracování a likvidaci autovraků a jsou vydány vyhlášky a nařízení, stále ještě pořád není

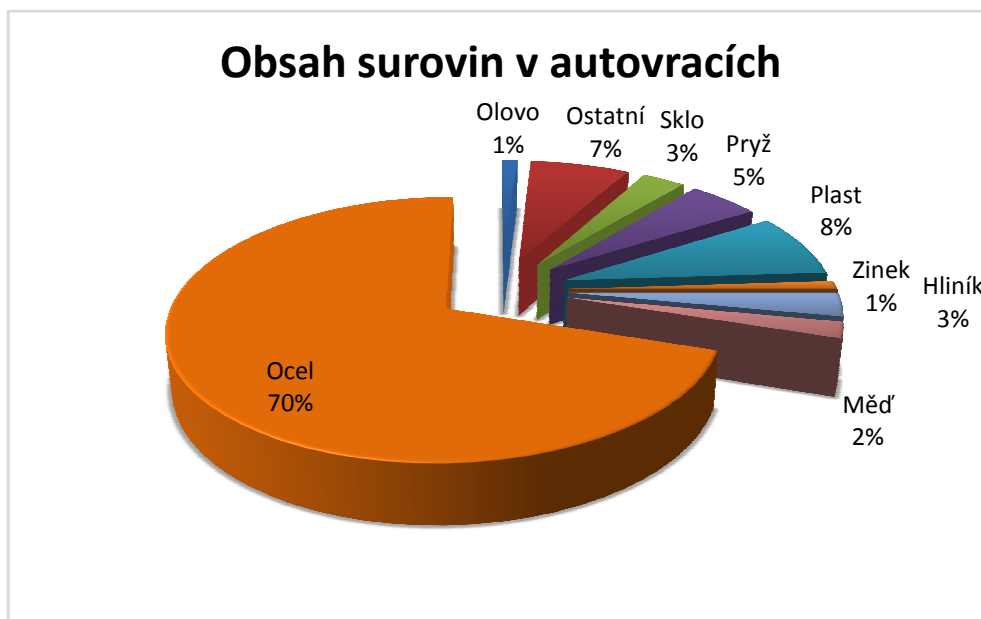
zneškodnění autovraků dostatečně zabezpečeno proti zneužití a opětovnému zařazení do provozu a to v různých formách [36].

Vozidlo, které dosloužilo, je nutné ekologicky zneškodnit. Když je vozidlo oficiálně zlikvidováno, přichází na řadu znovu použití některých získaných materiálů, tzv. recyklace. Recyklace je velmi důležitá a to hned z několika hledisek. Především jde o šetření životního prostředí, tedy o ekologii. Dále o úspory financí vynaložených za výrobu a zpracování nových surovin, ekonomii. V neposlední řadě se jedná o aspekty technologie a s tím spojené energetické úspory [37]. Důležitým pojmem úzce spjatým s tímto odvětvím je **recyklovatelnost**, tímto se rozumí materiálová využitelnost dílů po ukončení jejich životního cyklu. Materiály a součásti automobilů, které byly recyklovány, je možné dále použít pro výrobu věcí nejen z oblasti automobilového průmyslu. V úvahu přichází mimo jiné různé skleněné výrobky nebo třeba části nábytku. Další neopomenutelnou částí této oblasti je **míra recyklovatelnosti**. Stanovuje se tzv. recyklační kvótou. Tato kvóta (obr. 16), definovaná Evropskou unií stanovuje od roku 2006 80% hranici recyklovatelné hmotnosti vozidla. Počínaje rokem 2015 bude muset být recyklovatelná hmotnost 85%. Mezi recyklovatelné části patří například kapaliny, kovy nebo plastové díly. Jako příklad můžeme uvést vozidla výrobce Škoda. Vozidla tohoto výrobce splňují stanovenou kvótu a jsou recyklovatelná alespoň z 85%, dalších 10% je využitelných energeticky a zbytek, přibližně 5% hmotnosti je skládkován [38].



Obr. 16 Recyklační kvóta pro automobily [38]

Autovrak má, co se týče materiálové skladby velký potenciál, jelikož automobil obsahuje až 50 materiálů všeho druhu (obr. 17) a až 10 000 součástí. Z automobilů se dá při likvidaci získat několik skupin materiálů. Velkou část stále tvoří železo, dále je tady skupina neželezných kovů, u kterých dominuje především hliník. Posledními skupinami jsou nekovové materiály (plasty, kompozity, pryž, sklo) a provozní kapaliny (oleje a maziva). V této kapitole budou popsány všechny skupiny kromě poslední zmiňované [36].



Obr. 17 Obsah surovin v autovracích [39]

4.1 Zpracování a další využití neželezných kovů

Skupina kovového odpadu neželezných kovů zahrnuje řadu neželezných kovů a jejich slitin. Největší podíl z této skupiny tvoří měď a slitiny mědi (mosaz, bronz), zinek a jeho slitiny a nejpodstatnější je hliník a hliníkové slitiny (duraly, siluminy). Na rozdíl od ocelí nebo litin je většina neželezných kovů a jejich slitin nemagnetických, proto je nutné použití jiných metod při třídění a následné zpracování. K procesům zpracování patří třídění, stříhání, briketování nebo lisování. Takto zpracovaný šrot je potom používán jako primární surovina pro metalurgický průmysl.

Hliník

Získaný hliníkový šrot, který se v automobilech nejčastěji vyskytuje v podobě chladičů, částí karoserie nebo konstrukčních dílů, je klasicky zpracováván drcením, tříděním a rozdrůžováním. Poté následuje proces tavení, a jelikož je hliník velmi reaktivní, taví se zásadně pod tavidly (krycí sůl). Dalším krokem je rafinace (odstranění vměstků a vodíku) nezbytná pro dokonalý a čistý výchozí polotovar. Díky těmto procesům dostaneme recyklovaný hliník, který může být plnohodnotně znovu využit. Největší uplatnění pro recyklovaný hliník je ve stavebnictví, elektrotechnice, strojírenství, chemickém průmyslu a také v automobilovém průmyslu [40,41].

Měď

Tento materiál, který je z autovraku získáván především v podobě kabeláže, je zpracováván tavením v šachtových pecích, poté přichází na řadu konvertorování černé mědi (snižování obsahu nečistot) a nakonec pyrometalurgická a elektrolytická rafinace. Tak jako ostatní recyklované materiály má i měď další nové využití. Jedná se především o použití v elektrotechnice, stavebnictví, strojírenství a dopravě [41].

Zinek

Zinek se na vozidle vyskytuje prioritně v podobě plechů nebo drátů, v menším množství je možné jej také zaznamenat v podobě pozinkovaných šroubů. U zinku je obtíž v tom, že poptávku po zinku pokrývá pouze import, jelikož nejbližší závod, schopný recyklace a zpracování zinku, je v Bánské Bystrici na Slovensku. Zmiňovaný materiál je zpracováván dvoustupňovou rafinací. První krok spočívá v oddělení zinku od železa a druhý v použití třetí složky pomocí níž dojde k vytvoření stěrů ve složení Zn-Fe-Al. Struktura spotřeby zinku je zaměřena především na pozinkování (dráty, plechy). Další využití je pro výrobu mosazi nebo v chemickém průmyslu. V neposlední řadě je zinek nepostradatelným materiálem také v automobilovém průmyslu [40].

Olovo

Olovo se v automobilech vyskytuje vzhledem k jejich hmotnosti v malé míře, avšak je velmi podstatné. Tento materiál patří k těžkým neželezným materiálům, které jsou mimo jiné nebezpečné a zaslouží si zvláštní zacházení z pohledu likvidace. Konkrétní využití je primárně v autobateriích a částečně v ložiscích. V olověném akumulátoru se nachází mimo kovového olova ještě PbSO_4 , PbO , elektrolyt a organické látky a tím se stává ještě rizikovější součástí autovraku. Celkový obsah olova v autobaterii se pohybuje kolem 60% a celková spotřeba olova v automobilovém průmyslu má tak z důvodu stále se zvyšující produkce automobilů rostoucí tendenci. Pro zpracování olova je v České republice jediná firma Kovohutě Příbram. Tato firma disponuje šachtovou pecí pro zpracování akumulátorů, která byla vyrobena ve spolupráci se společností VARTA. Použití recyklovaného olova je velice různorodé, je možné jej použít pro výrobu olověných trubek, speciálních baterií, střeliva, olověných pájek nebo ochranných štítů proti radiačnímu záření [36,41].

4.2 Zpracování a další využití nekovových materiálů

Autovrak je složen také z materiálů, které nejsou z kovových materiálů. Jedná se především o plasty, sklo, pneumatiky a další.

Plasty

Plast v různých podobách je nedílnou součástí každého automobilu a to včetně těch, které už dosloužily. Pro příklad by se dalo vybrat několik ryze plastových částí automobilů. Určitě mezi ně patří nárazníky, plastové podběhy, palubní deska nebo kryty na a pod motor. Podíl plastů v běžném vozidle se pohybuje v rozmezí 8-15%. Velkou výhodou u těchto materiálů je jejich nízká teplota tavení. To přináší možnost energeticky méně náročné přeměny starého plastu na nový.[36].

Sklo

Skleněný odpad získaný likvidací autovraků pochází především z prosklených částí vozidel (oken) ale také z předních světlometů, které se dříve vyráběly ze skla. Jeho obsah v automobilech může dosahovat až 4,5%. Zpracováním skleněného odpadu se v České republice zabývá firma CZ Sklopan Liberec a.s. Sklo je nejprve nutné vytrídít, vyčistit a rozdrtit. Poté je v podobě granulátu (střípků) dodáváno odběratelům, kteří jsou z velké části také výrobci. Recyklované sklo nachází uplatnění především ve stavebnictví, například na obklady, dlaždice, keramiku nebo skelné izolace [36,41].

Pryž

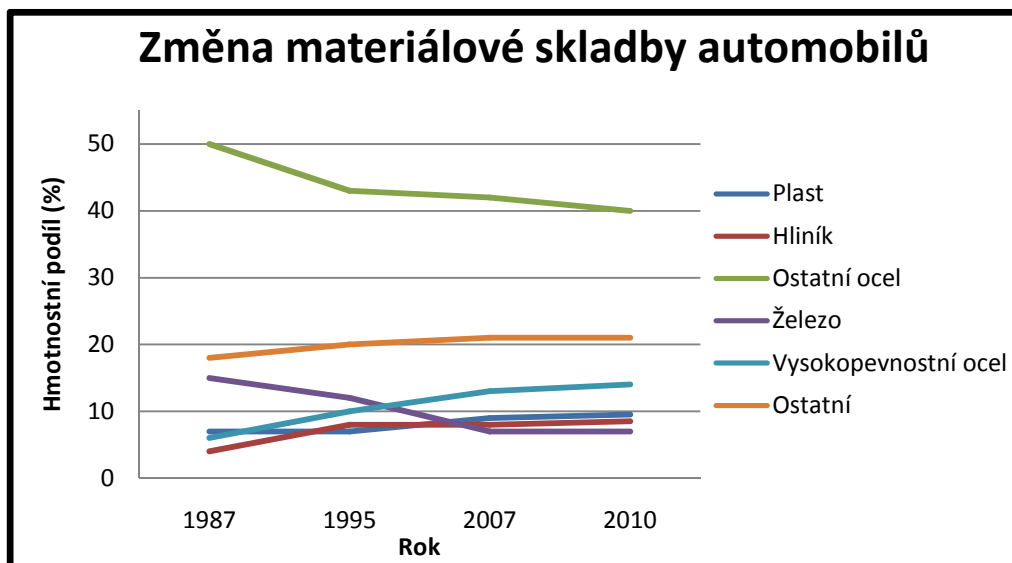
Pryž tvoří v celku automobilu velkou část, jedná se o různé gumové těsnění, silentbloky, či dekorační prvky nebo záslepky. Největší podíl pryže ale tvoří bezesporu pneumatiky. Celkový podíl pryže se pohybuje mezi 3,5 - 7% hmotnosti podle typu vozidla. Druhotné využití pryže, především pneumatik je buďto jako odpad určený ke spalování pro získávání energie. Hlavním odběratelem bývají cementárny. Z recyklovaných pneumatik je získáván pryžový granulát a další složky. Granulát je z části možné využít na novou výrobu pneumatik, ale není to možné plnohodnotně, jelikož není možné zcela nahradit prvotní směs. Zbylé recyklované složky se používají ve stavebnictví, například jako podklad pro stavbu vozovek nebo v automobilovém průmyslu, kde je možné použití pryžového prášku pro výrobu klínových řemenů, těsnění nebo koberečků [36,41].

Kapitola věnovaná recyklaci jasně poukazuje na to, že i doslouživší automobily jsou stále využitelné. Jelikož je míra recyklovatelnosti na hodnotě až 85%, vyplývá z toho, že velkou část již nepotřebných automobilů je možné využít znovu. Ze statistik Eurostatu vyplývá, že se počet vozidel připadajících na osobu v evropské unii rapidně zvyšuje. Průměr v EU v roce 2009 činil 473 vozidel připadajících na 1000 lidí. Od roku 1991 došlo k navýšení o 139 vozidel na již zmiňovaný počet lidí. V České republice je to potom 424 vozidel na každých 1000 obyvatel [42]. Je tedy patrné, že pokud bude nastalá situace pokračovat, tj. pokud se budou tyto hodnoty stále navyšovat a my nechceme, aby nás autovraky zahltily, je recyklace nutností. Když budou jednotlivé materiály kvalitně tříděny a recyklovány, možnost jejich využití bude stoupat. Pro některé se najde plnohodnotné využití na stejné součásti automobilů a některé materiály mohou být používány například jako příměsi do jiných dílů nebo různých nových výrobků.

5. Zhodnocení současného stavu a změny v používání neželezných kovů použitých v automobilech

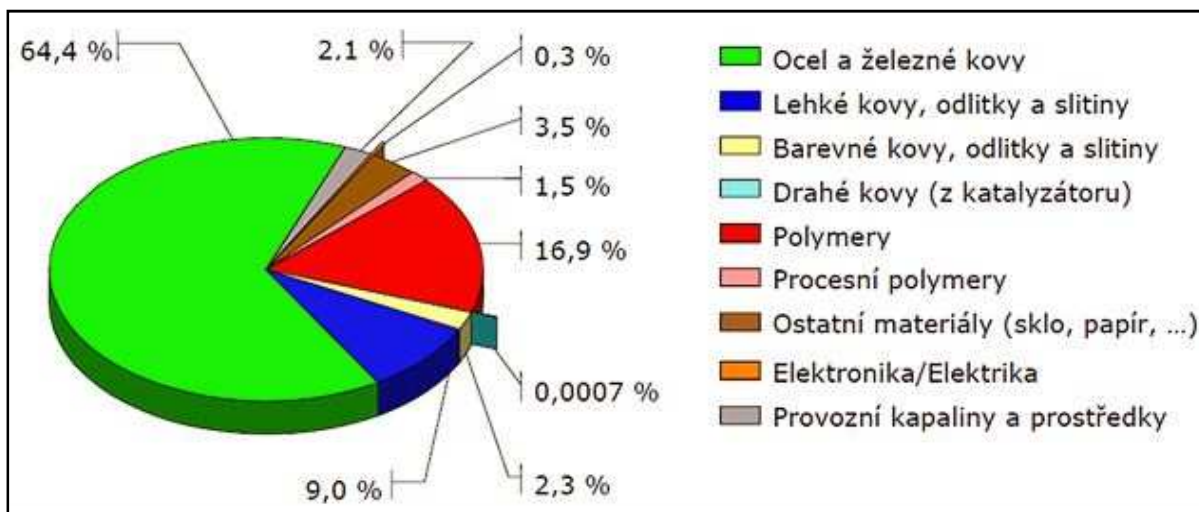
V této práci toho bylo o snižování hmotnosti v návaznosti na výběru materiálů napsáno mnoho. Zbývá tedy zhodnotit současný stav a samozřejmě aktuální rozsah použití neželezných kovů v automobilech. Můžeme konstatovat, že v České republice se zatím mnoho vozidel, využívajících moderní materiály a technologie, nevyskytuje. Statistiky uvádějí, že stáří vozového parku v ČR se již dlouhodobě pohybuje mezi 13 a 14 lety. Jelikož v EU se sleduje pouze stáří vozidel starších 10 let, můžeme provést srovnání pouze v tomto okruhu. Zatím co v EU překračuje stáří 10 let maximálně 35% z celkového počtu zaregistrovaných vozidel, v ČR je to 60% [43]. Přes tato nepříznivá čísla, jsou ale ve vozových parcích jak v ČR, tak i v EU vozidla nová, která doslova oplývají prvky z nových a lepších materiálů. Výrobci se v dnešní době vydali cestou snižování hmotnosti a následného snížení spotřeby a emisí výfukových plynů. Na druhou stranu však přidávají do vozidel nové technologie v podobě různých nejnovějších bezpečnostních prvků a vybavení zvyšující jízdní komfort. Bohužel tyto součásti vozidla mají také svou hmotnost a tak když se podaří uspořít nějakou hmotnost, okamžitě je nahrazena vahou těchto dílů. Z dostupných materiálů je zřejmé, že materiálová skladba vozidel se za posledních 26 let změnila. Na obrázku 18 můžeme pozorovat rostoucí tendenci použití hliníku, plastů a také vysokopevnostních ocelí

v daném časovém období. Naopak je vidět, jak se na úkor těchto materiálů snižuje používání železa a ostatních ocelí.



Obr. 18 Závislost změny materiálového složení automobilů v daném časovém období [44]

Jelikož se věda a technika díky výzkumům dostává stále kupředu, otevírá se cesta i novým materiálům nebo různým zlepšením vlastností těch stávajících. Pro přehled na obrázku 19 je zobrazeno materiálové složení vozidla Škoda Octavia s dieselovým motorem a výkonem 74 kW.



Obr. 19 Materiálové složení vozidla Škoda Octavia [38]

Všechny dosavadní statistiky poukazují na vzrůstající trend použití neželezných materiálů. Je to způsobeno zlepšenými vlastnostmi materiálů na bázi neželezných kovů, které jsou již schopny nahrazovat materiály na bázi železa. Také je patrné, že celkový vývoj automobilismu je na velmi dobré cestě, když vezmeme v úvahu to, že první vozidlo bylo ze

dřeva a k tomu, aby bylo schopné pohybu, bylo třeba zapálit pod kotlem otevřený oheň. Dnes po necelých 245 letech můžeme pozorovat velký boom v podobě hybridních vozidel a elektromobilů, využívajících nejmodernější technologie a materiály.

I vize do budoucna počítají s neželeznými kovy. Izraelská firma například přišla s prototypem vozidla, které má pohon na hliníkové baterie s dojezdem až 1600 km na jedno nabití [45].

A není to jen hliník, který je do budoucna perspektivním materiálem. Společnost General Motors (GM) není toho názoru, že hliník je tou správnou cestou. Tato společnost si vybrala dalšího ze zástupců lehkých neželezných kovů a to hořčík. GM pracuje na vývoji hořčíkových plechů, které budou až o 33% lehčí než hliník a o 75% lehčí než ocel. Vize GM je, že tyto plechy při použití na karoserii uspoří až 15% hmotnosti [46].

Na závěr by se tedy dalo říct, že použití neželezných kovů v automobilovém průmyslu je ta správná cesta a směr, kterým se vývoj ubírá. Brzy se jistě dočkáme u těchto materiálů dalšího rozšíření oblasti použití.

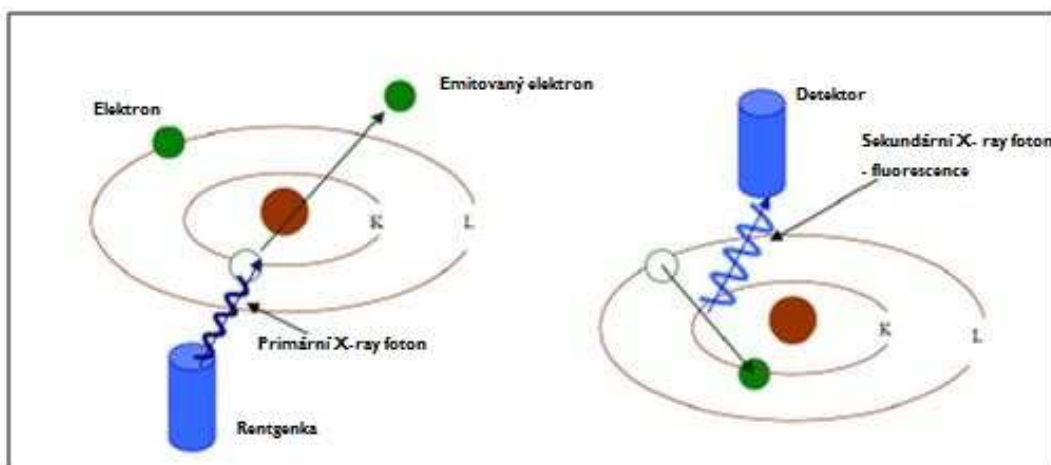
6. Praktická část

V praktické části práce bylo provedeno měření materiálového složení vybraných částí automobilů. Materiály pro automobily dnešní doby jsou tvořeny širokou škálou různých zelených i neželezných prvků. Tato kapitola je věnovaná praktické stránce věci a tak byly vybrány různé části automobilu, které jsou vyrobeny převážně z hliníkových slitin. Materiálové složení je možné zjistit několika metodami. Nejjednodušší rozdělení možností jeho zjištění je na destruktivní a nedestruktivní měření. Pro destruktivní měření je nutné danou součást demontovat, znehodnotit a připravit pro rozbor. Toto přináší jak větší náklady na dané měření, tak další práci spojenou s přípravou jako je oddělení části materiálu a jeho další úprava. Oproti tomu je nedestruktivní měření podstatně rychlejší a pohodlnější metodou. Není zde nutné zvolenou část demontovat, je-li k ní dostatečný přístup pro spektrometr, ale největší výhodou je možnost měření bez nejmenšího poškození měřeného dílu. Je tedy možné provádět měření i na součástech, které ještě nejsou za hranicí životnosti. Pro tuto práci jsem tedy zvolil nedestruktivní měření.

6.1 Metoda měření

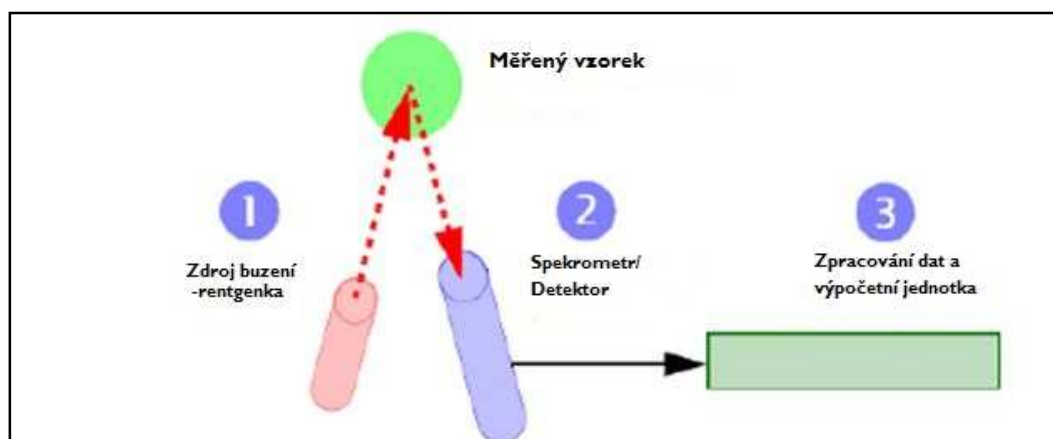
Spektrometr, který jsme použili při měření, využívá metodu XRF. Jedná se o rentgenovou fluorescenční spektrometrii. Prvek je identifikován jeho charakteristickou emisí záření, vlnovou délkou (λ) nebo energií. Množství přítomných prvků je pak určeno měřením intenzity jeho charakteristické vlnové energie. Tato spektrometrická metoda je schopná přesně určit skutečné elementární složení materiálu. Energetická disperzní (ED) XRF a vlnová disperzní (WD) XRF spektrometrie typicky využívá aktivitu v prvních třech elektronových orbitách, K, L a M, kde K je nejbližší k jádru. Každý elektronový orbit odpovídá specifické a unikátní energetické úrovni pro daný prvek. Princip XRF metody (obr. 20): vysoce energetický primární foton rentgenového záření emitovaný ze zdroje (rentgenky) udeří do vzorku. Zmiňovaný foton má dostatečnou energii k vyražení elektronu ven z orbitů K a L umístěných co nejbližší k jádru. V momentu, kdy k této situaci dojde, z atomu se stane iont, který je z fyzikálního pohledu nestabilní. Elektrony hledají stabilitu, proto se elektron z vnějšího orbitu L nebo M přesune do nově neobsazeného místa ve vnitřním orbitu. Jakmile se elektron z vnějšího orbitu přesune do vnitřního orbitálního prostoru, emituje energii známou jako foton sekundárního rentgenového záření. Tento jev se nazývá fluorescence. Produkované fluorescenční rentgenové záření je charakteristické pro specifické prvky. Energie (E)

emitovaného fotonu rentgenového záření je určena rozdílem energií mezi počátečním a finálním orbitem jednotlivého přechodu [47].



Obr. 20 Popis XRF metody [47]

Technologie ED-XRF (obr. 21), který spektrometr Delta Professional využívá má tři hlavní komponenty: zdroj excitace, spektrometr/detektor a sběr dat/základní jednotku.



Obr. 21 Princip funkce spektrometru využívající metodu ED-XRF

6.2 Technologie měření

Při měření byl použit ruční spektrometr s označením Delta Professional. Tento přístroj umožňuje nedestruktivní chemickou analýzu kovových i nekovových materiálů. Zmiňovaný spektrometr je schopen měření velké škály chemických prvků, pro naše měření byly podstatné především neželezné materiály. Mezi prvky, které přístroj dokáže rozpoznat, patří Ti, Fe, V,

Cr, Mn, Cu, Zn, Zr, Pb, Ag, Sn a další. Velkou výhodou přístroje je možnost měření hliníku, hořčíku, křemíku, fosforu a síry bez nutnosti použití vakua nebo hélia. Nespornou předností je také velmi rychlé a přesné určení složení měřené součásti. Analyzátor je vybaven standardním 9 mm širokým kolimátorem, který však může být nahrazen 3 mm širokým pro menší RTG paprsek a tím je schopen měřit menší až bodové plochy s větší přesností. Měření je založeno na použití kompaktní rentgenky, která disponuje výkonem až 4 W. Dále velkoplošným SDD detektorem, jež umožňuje dosažení velmi vysoké citlivosti a tím i vynikajících detekčních limitů. Velmi důležitým prvkem je také rychlý floating point procesor, který podporuje rychlost vyhodnocení analýzy. Přístroj je vybaven dotykovým displejem pro ovládání a také pro zobrazování naměřených hodnot [48].



Obr. 22 Spektrometr Delta professional [49]

6.3 Zkušební vzorky

Pro měření spektrometrem bylo vybráno několik částí automobilu, u kterých byl předpoklad, že jsou vyrobeny z neželezných materiálů. Část měřených součástek byla namontována na vozidle a část byla demontována. Všechny měřené vzorky byly nejprve pečlivě očištěny a odmaštěny pro dosažení co nejpřesnějších výsledných hodnot. U vzorků, které byly ošetřeny větší vrstvou antikorozního nátěru, nebo byla část lakována, bylo nutné odstranění těchto pro měření nežádoucích vrstev. Po provedení těchto přípravných prací bylo možné přistoupit k samotnému měření.

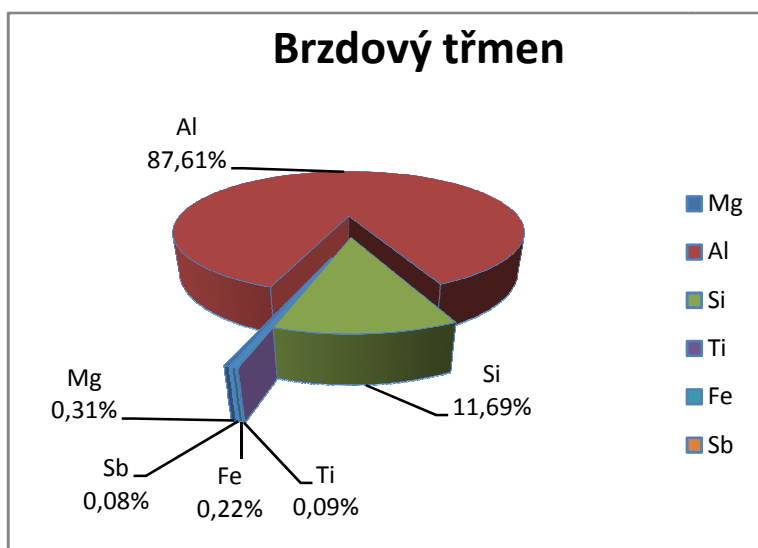
6.3.1 Měření jednotlivých vzorků

Prvním měřeným vzorkem byl brzdový třmen (obr. 23), běžně používaný u vozidel koncernu VW. Výrobce TRW uvádí, že třmen je vyroben z hliníku. Podrobili jsme tedy třmen měření pro zjištění přesného chemického složení.



Obr. 23 Brzdový třmen

Z výsledků měření jsme sestavili graf (obr. 24), ze kterého vyplývá že, největší materiálový podíl připadá hliníku. Dalším prvkem, který byl obsažen ve velkém množství, je křemík. Zbylé prvky jako hořčík, titan, antimon a železo tvořily méně než 1 % z celkového obsahu. Toto složení nejlépe odpovídá slitině AlSi10Mg. Slitina tohoto složení vyniká pevností v tahu, která dosahuje až 260 MPa [50].



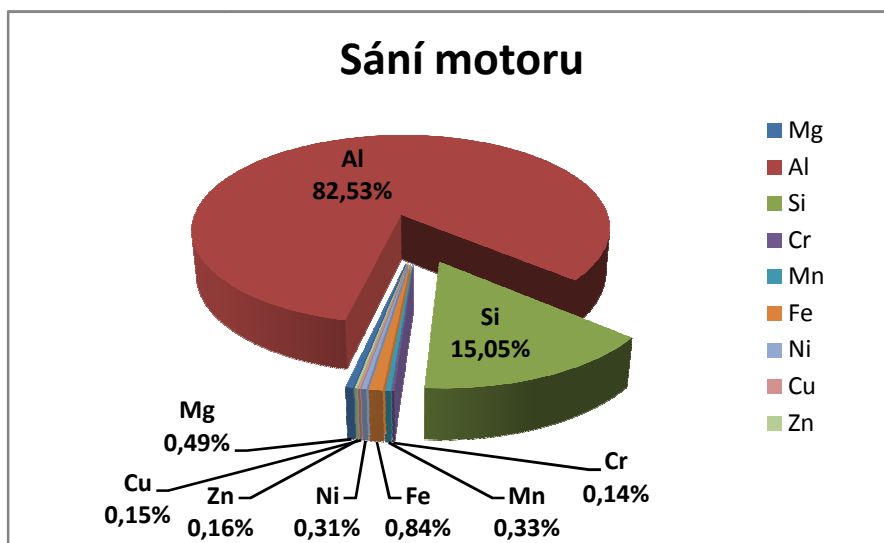
Obr. 24 Graf chemického složení brzdového třmenu

Dalším vzorkem, který jsme chemicky analyzovali, bylo sání motoru. Sání bylo součástí dieselového motoru o obsahu 1968 ccm, který byl namontován ve vozidle Seat Leon. Potrubí sání je namontováno do hlavy motoru a přivádí stlačený vzduch do spalovacích prostorů. Tak jako předešlý vzorek, bylo výrobcem sání označeno jako „hliníkové“. Měření bylo z důvodu dobré dostupnosti provedeno přímo v motorovém prostoru (obr. 25). Výstupem naměřených hodnot je graf (obr. 26).



Obr. 25 Měření sání motoru

Z následujícího grafu můžeme konstatovat, že hliník má opět největší procentuální podíl. Podobně jako u chemického složení brzdového třmenu je zde druhým nejvíce procentuálně zastoupeným prvkem křemík. U hliníkových slitin je křemík použit především pro zvýšení tvrdosti. Další prvky jako hořčík, chrom, mangan, měď, železo, nikl a zinek jsou jednotlivě zastoupeny v celkovém složení méně než jedním procentem. Oproti brzdovému třmenu, je zde obsaženo více prvků, ale základní složení hliník – křemík je zde velmi podobné a to ve velmi podobném procentuálním poměru.



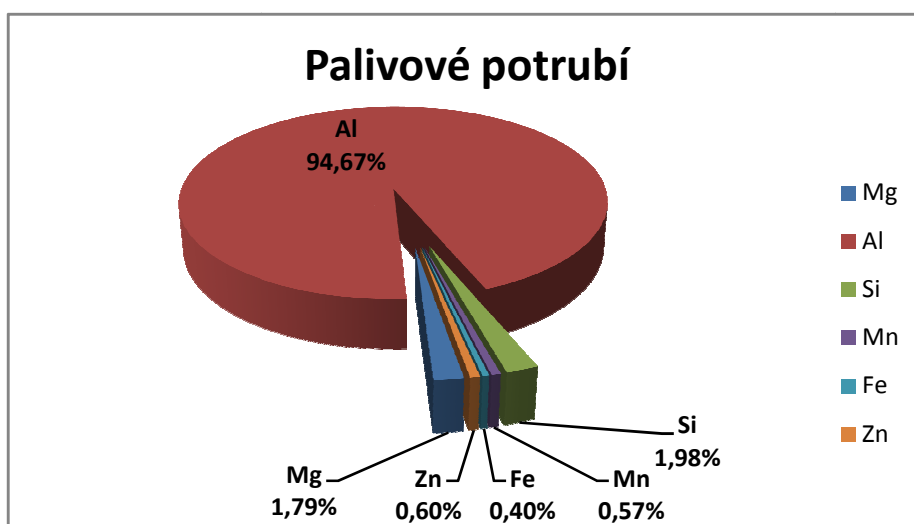
Obr. 26 Graf naměřených hodnot sání motoru

Následujícím vzorkem bylo palivové vedení. Pro měření bylo použito potrubí na koncernovém vznětovém motoru s označením BKD. Jedná se o palivové trubičky, které jsou umístěny v těsné blízkosti hlavy motoru. Trubičky propojují trasu od palivového filtru ke vstřikovacím jednotkám. Jelikož dnešní motory jsou velmi citlivé na kvalitu pohonných hmot, je nutná velmi dobrá korozivzdornost materiálu, ze kterého je vedení vyrobeno. Díky umístění palivového vedení na hlavě motoru bylo možné provést měření přímo na vozidle (obr. 27).



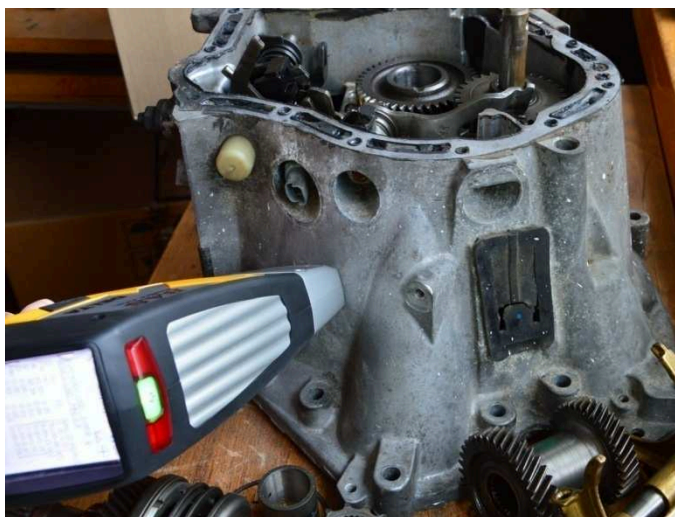
Obr. 27 Měření palivového vedení

Výsledky chemické analýzy palivového potrubí ukázaly, že potrubí je složeno z převážné části hliníkem. Analýza prokázala také přítomnost dalších prvků. Nejvyšší procentuální podíly byly zaznamenány u hořčíku a křemíku. U zinku, manganu a železa byly získány hodnoty mezi 0,6-0,4 %. Spektrometr vyhodnotil materiál, ze kterého je palivové potrubí vyrobeno jako slitinu 6070. Tato slitina má pevnost v tahu až 145 MPa a modul pružnosti při pokojové teplotě až 79 GPa. [51]

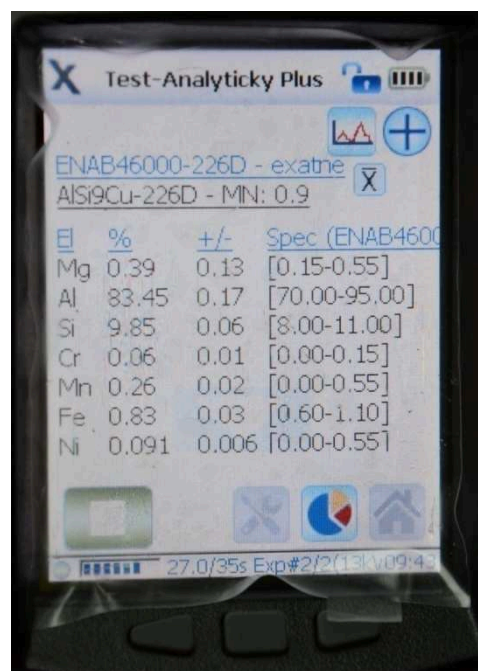


Obr. 28 Graf naměřených hodnot palivového potrubí

Dalším testovacím vzorkem byla převodová skříň z automobilu Citroen Berlingo. V rámci úspor hmotnosti, je tato součást automobilu vyrobena z hliníkové slitiny. Skříň převodovky (obr. 29) byla demontována z vozidla a byla rozebrána. Na obrázku č.30 je vyobrazen LCD displej s výsledkem měření. V horní části displeje je zobrazen název slitiny a ve spodní části je výpis jednotlivých prvků včetně jejich množství.

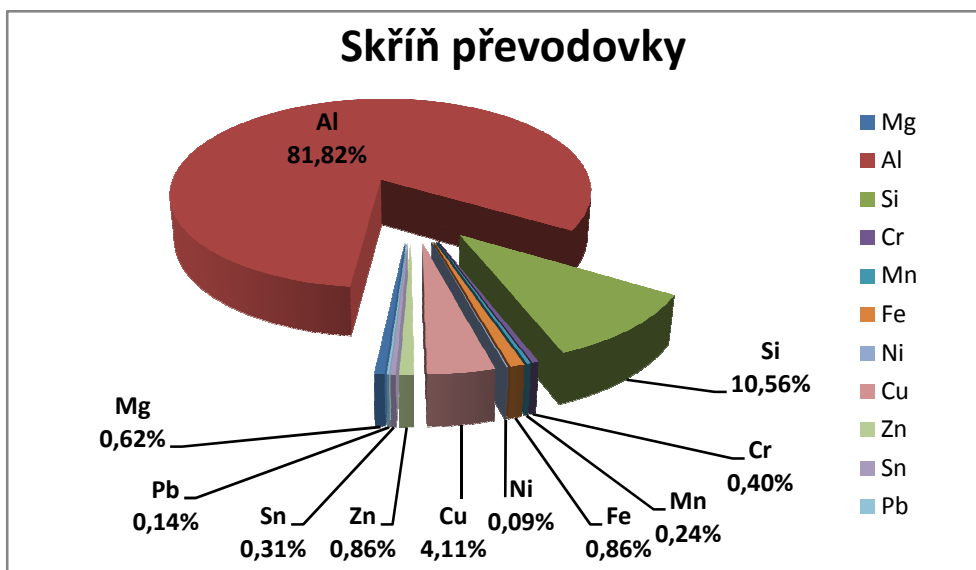


Obr. 29 Měření převodové skříně



Obr. 30 Výstup z měřicího přístroje

Výsledky chemické analýzy skříně převodovky ukázaly, že složení hliníkové slitiny, co se týče prvků, je velmi rozličné. Mimo kombinace hliník – křemík, která je v podstatě základem hliníkových slitin, především těch, které jsme doposud měřili, se zde vyskytuje ve větší míře ještě měď. V malém množství se v této slitině vyskytuje hořčík, chrom, mangan, železo, nikl, zinek, cín a olovo. Procentuální množství těchto minoritních prvků se pohybuje od 0,86 do 0,09 %. Spektrometr vyhodnotil slitinu, ze které je skříň převodovky odlitá jako ENAB 46000-226D respektive AlSi9Cu – 226D. Tato slitina má velmi dobré slévárenské vlastnosti a je velmi vhodná pro tlakové lití. Velké pozitivum zmiňované slitiny tkví ve výborné obrobiteľnosti, což je vzhledem k tvarové složitosti více než vhodná volba. Také díky tomu, že převodové skříně se vyrábí velkosériově, je důležité, aby materiál, byl co nejméně náchylný na tvorbu defektu. I tuto vlastnost slitina EN AB 46000 má [52].



Obr. 31 Graf naměřených hodnot skříně převodovky

Díky demontované převodovce se naskytla možnost měření i dílů z vnitřní části. Proto další součástíku podrobenou chemické analýze byla vidlice řazení (obr. 32). Tato součástka v převodovce plní úkol posouvání řadicích objímek po synchronizačním tělese.

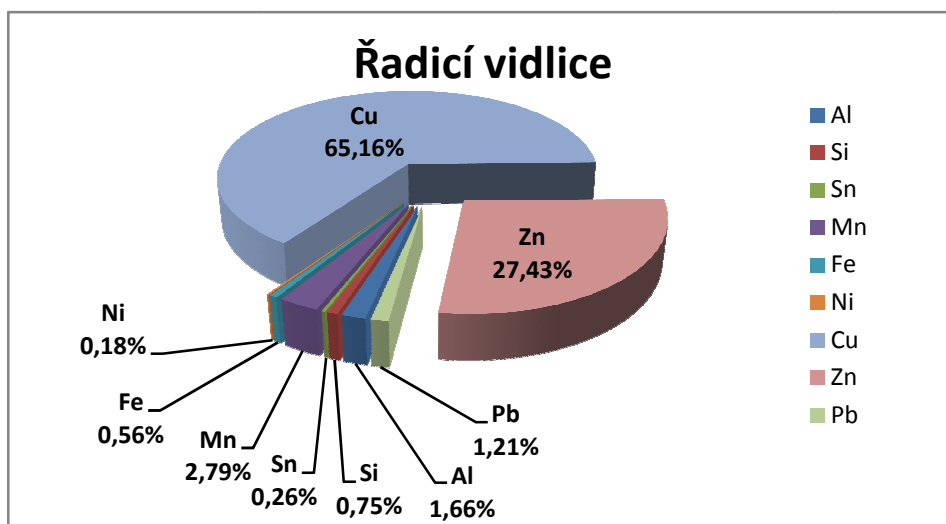


Obr. 32 Řadicí vidlice



Obr. 33 Měření řadicí vidlice

Slitina na výrobu této součástky do převodovky je složena především z mědi a zinku, které společně tvoří majoritní materiálový podíl. Ve větším množství je zde zastoupen ještě mangan a hliník. Mezi další prvky doplňující složení patří křemík, nikl, železo, cín a olovo. Procentuální zastoupení těchto prvků je od 1,21 do 0,18 %. Toto složení odpovídá slitině $\text{CuZn}_{32}\text{Al}_{2}\text{Mn}_{2}\text{Fe}_{1}$. Zmiňovaná slitina má velmi výjimečnou pevnost v tahu až 430 MPa [53].



Obr. 34 Graf naměřených hodnot řadicí vidlice

6.4 Shrnutí chemické analýzy vzorků

V rámci experimentální části práce byla provedena analýza chemického složení vybraných automobilových součástek na bázi neželezných kovů. Měření bylo provedeno částečně přímo ve vozidle bez nutnosti jejich demontáže, což umožňuje použití ruční rentgenový spektrometr Delta Professional. V další části práce byly analyzovány vybrané součásti, které byly demontovány z vozidla. Skutečnost, že některé součástky byly přímo na vozidle a vyskytovaly se v blízkosti jiných materiálů, nemá vliv na získané výsledky. Hodnoty koncentrace prvků však mohou být ovlivněny stavem povrchu dané součástky. Z dosažených výsledků můžeme konstatovat, že používané slitiny v běžných osobních automobilech jsou většinou na bázi hliníku a jeho slitin, v menší míře na bázi mědi. U většiny vzorků bylo možné určit konkrétní označení použité slitiny. Tím jsme byli schopni dohledat mechanické vlastnosti jednotlivých slitin.

7. Závěr

Tato práce hodnotí materiálové proměny v automobilovém průmyslu, zejména se zaměřením na využití neželezných kovů. Ze všech úhlů pohledu i statistik je zřejmé, že automobilový průmysl neustále vyvíjí a inovuje stávající vyráběné automobily a to nejen konstrukčně, ale i materiálově. Pokud by byla porovnávána vozidla, která jezdila před více než 200 lety a vozidla, která lze vídat na cestách dnes, zřejmě by nebylo možné najít mnoho podobností kromě tvaru automobilu a čtyř kol. Není třeba ani zacházet do tak vzdálené minulosti, poněvadž automobily a jejich technologie společně s materiálovou skladbou procházejí téměř rok od roku velmi progresivními změnami. Lze také s jistotou říci, že využití neželezných kovů v automobilech neustále roste a tento trend lze očekávat také v budoucnu. Předpokládaným materiálem budoucnosti je především hliník, hořčík a jejich slitiny. Zavádění některých materiálů zmíněných v této práci (například titanových slitin) je velmi finančně náročné. Je ale možné, že při jejich širším využití by se staly ekonomicky dostupnějšími.

Změnami neprošly pouze používané materiály automobilů, ale také vzhled, konstrukce vozidel a mnohé další aspekty. Aby ke všem výše zmiňovaným změnám ale mohlo vůbec dojít, bylo nutné osvojit si nové výrobní technologie a zaměřit se na vývoj nových materiálů nebo inovaci stávajících a jejich aplikaci v automobilovém průmyslu. Samotná aplikace nových materiálů na části automobilů je velmi složitá, neboť tyto součásti musí kromě své základní funkce splňovat i mnohé jiné nároky – například bezpečnostní, designové nebo ekologické. Řada součástí automobilů je dnes nahrazována materiály s menší měrnou hmotností, čímž dochází ke zvýšení podílu slitin na bázi neželezných kovů ve vyráběných automobilech.

V experimentální části práce byly identifikovány materiály na bázi neželezných kovů vybraných automobilových součástek, které jsou běžně používány při konstrukci motorových vozidel. K analýze byl použit ruční rentgenový spektrometr Delta Professional.

Seznam použité literatury

- [1] *Nicolas Cugnot* [online]. 2009 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.nicolascugnot.com/eng.html>.
- [2] *Dunlop* [online]. 2012 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: http://www.dunlop.eu/dunlop_czcs/what_sets_dunlop_apart/history/.
- [3] *Osobnosti.cz* [online]. 1996-2012 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: www.financnici.cz/john-boyd-dunlop.
- [4] *Butzi.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: <http://www.butzi.cz/porsche/modely/lohner-porsche-mixte.html>.
- [5] The Henry Ford: The life of Henry Ford. *The Henry Ford* [online]. 2003 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.hfmgv.org/exhibits/hf/>.
- [6] Podvozku netřeba, vše unese karoserie!. In: *Veterán autocz* [online]. 2009 [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/auta/to-unese-karoserie%E2%80%A6/>.
- [7] *Auto.idnes.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/hlinik-je-lepsi-nez-hybridni-pohon-uspori-palivo-a-zlepsi-jizdu-ps7-/automoto.aspx?c=A110419_223609_automoto_vok.
- [8] LOSERTO VÁ, M. *Slitiny neželezných kovů v automobilovém průmyslu*. Ostrava, 2010. Syllaby přednášek VŠB- TUO.
- [9] *1000 automobilů: dějiny, klasika, technika*. V Praze: Knižní klub, 2006, 359 s. ISBN 80-242-1733-3.
- [10] *Trabant.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-01-04]. Dostupné z: <http://www.trabant.cz/clanky/historie/sm-26-56-prvni-vuz-s-karoserii-z-plasticke-hmoty-na-trh>.
- [11] BUREŠ, Jiří. *Converter* [online]. 2002 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/oersted.htm>.

- [12] MATĚJKA, Jaroslav. Výrobci aut drží dietu, vsadí ještě víc na hliník?. In: *Autorevue.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/vyrobci-aut-drzi-dietu-vsadi-jeste-vice-na-hlinik>.
- [13] Periodická tabulka: Hliník. *Periodická tabulka* [online]. 2013 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/13.html>.
- [14] Aluminium in the automotive industry. *Aluminiumleader.com* [online]. 2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/en/around/transport/cars>.
- [15] HIRSCH, J. Automotive Trends in Aluminum, The European Perspective: Part One. In: *Key to metals* [online]. 2010 [cit. 2013-01-22]. Dostupné z: <http://www.keytometals.com/Article135.htm>.
- [16] *Hliník: Moderní výroba hliníku elektrolýzou* [online]. 2010 [cit. 2013-01-22]. Dostupné z: <http://hlinik.webnode.cz/hlinikove-slitiny/>.
- [17] MACHEK, V., SODOMKA, J.. *Speciální kovové materiály: Nauka u materiálu - 3.část*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04212-0.
- [18] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 185 s. ISBN 80-708-0600-1.
- [19] SLAVÍČEK, Jiří. *Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] MIHÁLIK, Miro. Ferrari 620 GT: další upoutávka ve znamení hliníkové karoserie (+ ilustrace). In: *Autoforum.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/bleskovky/ferrari-620-gt-dalsi-upoutavka-ve-znameni-hlinikove-karoserie-ilustrace/>.
- [21] *ELEKTRONY* [online]. 2013 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.elektrony.cz/cs/alu-kola/dezent-l/produkt>.
- [22] *Almet* [online]. 2009 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.almet.cz/povrchove-upravy-pistu.html>.

- [23] Hliník začíná v elektrických kabelech nahrazovat měď. In: *Technik* [online]. 2011 [cit. 2013-02-21]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-51816070-hlinik-zacina-v-elektricky-kabelech-nahrazovat-med>.
- [24] Přepřínování (2.díl): Turbodmychadla. In: *Auto.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/preplnovani-2-dil-turbodmychadla-16765>.
- [25] KARÁSEK, Jan. *Obrábění titanových slitin*. 2008, Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] KUŇÁK, Jiří. *Zlepšování vlastností turbodmychadel aplikací slitin TiAl*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [27] SMÍŠEK, V., KURSA, M. Vliv směrové krystalizace na mikrostrukturu slitiny Ti-46Al-5Nb-1W. In: *Metal 2012* [online]. 2005 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_05/papers/99.pdf.
- [28] KOKEŠ, Jan. *Slitiny na bázi titanu pro aplikace v automobilovém průmyslu*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [29] ULMAN, Jaroslav. *Návrh a optimalizace ojnice motoru závodního automobilu*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [30] Pro Circuit Product Spotlight: Titanium Valves. *Motor Sports Newswire* [online]. 2011 [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://motorsportsnewswire.wordpress.com/2011/10/12/pro-circuit-product-spotlight-titanium-valves-1012114/>
- [31] *Kyutech: Kyushu institute of technology* [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://www.kyutech.ac.jp/english/academics/frontiers/200804.html>
- [32] Periodická tabulka: Hořčík. *Periodická tabulka* [online]. 2013 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/12.html>.
- [33] GREGER, Miroslav, et al. Využití výkovků z hořčíkových slitin v automobilovém průmyslu. In: *Metal 2013* [online]. 2008 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://www.metal2013.com/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/151.pdf.

- [34] HROUDA, Vladimír. *Slitiny hořčíku a jejich aplikace ve veloprůmyslu*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [35] MATĚJKA, Jaroslav. Automobily už jen z plastů? Už se to blíží. In: *Autorevue.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/automobily-jen-z-plastu-uz-se-to-blizi>.
- [36] ŠKODA, Jan. *Recyklace autovraků* [online]. Praha, 2001 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://envi.upce.cz/pisprace/ks_pha/04/calek.pdf. Semestrální práce. Univerzita Pardubice.
- [37] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2005, 98 s. ISBN 80-248-0753-X.
- [38] *Život s autem* [online]. 2010 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/index.html>.
- [39] MAREŠOVÁ, Milena. Autovrak zdroj surovin. In: *Střední škola automobilní a informatiky* [online]. 2006 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://www.skolahostivar.cz/DownloadPF/2.T%C3%A9ma%20AUTOVRAK%20-%20ZDROJ%20SUROVIN.ppt>.
- [40] BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z. *Recyklace*. Vyškov: MoraviaTisk Vyškov, spol. s r.o., 2003, 202 s. ISBN 80-238-9919-8.
- [41] KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace neželezných kovů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003, 57 s. ISBN 80-248-0485-9.
- [42] Motorisation rate. *Eurostat* [online]. 2013 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t_sdp340&plugin=1.
- [43] Auta v Česku stárnou. Průměrný věk je 14 let, motorkám je přes třicet. In: *IDNES.cz/Ekonomika* [online]. 2012 [cit. 2013-01-19]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/auta-v-cesku-starnou-prumerny-vek-je-14-let-motorkam-je-pres-tricet-1cc-/ekonomika.aspx?c=A120207_155732_ekonomika_fih.

- [44] Automotive technology: Greener Products, Changing skills: Lightweight Materials & Forming Report. *Driving Change: Greening the Automotive Workforce* [online]. 2011 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://drivingworkforcechange.org/reports/lightweightMaterials.pdf>.
- [45] Auto na hliník. In: *Meteor* [online]. 2013 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/meteor/magazin/_zprava/6-dubna-auto-na-hlinik--1196668.
- [46] DRAGON, Aleš. GM vyvíjí hořčkové plechy, jsou lehčí než hliník. In: *AUTO.CZ* [online]. 2012 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/gm-vyvi-ji-horcikove-plechy-jsou-lehci-nez-hlinik-70750>.
- [47] *EQUIPCO: X-RAY FLUORESCENCE (XRF) SPECTROMETRY* [online]. 2014 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.equipcoservices.com/support/tutorials/introduction-to-xrf-spectrometry/>
- [48] BAS: *Rudice s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.bas.cz/rucni-analyzator-kovu-pro-trideni-kovu-pmi/delta-professional-rucni-analyzator-kovu-spektrometr.php>
- [49] *Olympus: Ruční analyzátory kovů a slitin série DELTA - ruční spektrometry* [online]. 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.olympus-innovx.cz/rucni-spektrometry-delta/rucni-analyzatory-delta.php>
- [50] *EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES* [online]. 2014 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z : http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1227
- [51] *Azom.com: The A to Z of materials* [online]. 2013 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6640>
- [52] *HP Steel: Hliníkové slitiny* [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.hpsteel.cz/hlinik/produkty.html>
- [53] *EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES* [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1605

Seznam zkratek

CO ₂	Oxid uhličitý
ED-XRF	Energetická disperzní spektrografie
EU	Evropská unie
GPa	Gigapascal
HBW	Zkouška tvrdosti podle Brinella za použití kuličky ze slinutých karbidů
kW	Kilowatt
MPa	Mega pascal
Hm. %	Hmotnostní procentuální podíl
RP _{0,2}	Smluvní mez kluzu

Seznam obrázků

- Obr. 7 Bugatti Atlantic
- Obr. 8 Relativní a absolutní podíly hliníku v některých evropských automobilech
- Obr. 9 Diagram rozdělení hliníkových slitin
- Obr. 10 Napěťová křivka pěnového hliníku
- Obr. 11 Hliníková karoserie Ferrari 620GT
- Obr. 12 Audi A2, celohliníkový automobil
- Obr. 7 hliníkové kolo
- Obr. 8 Hliníkový píst motoru
- Obr. 9 Příklad řezu stěny turbodmychadla z hliníkové slitiny
- Obr. 10 Graf závislosti zpevnění titanu v závislosti na obsahu plynů
- Obr. 11 Titanová ojnice pro automobil Porsche
- Obr. 12 Titanové ventily
- Obr. 13 Srovnání konstrukce pružin z titanu a oceli
- Obr. 14 Mechanické vlastnosti odlitků a výkovků Mg slitin
- Obr. 15 Plastové kolo
- Obr. 16 Recyklační kvóta pro automobily
- Obr. 17 Obsah surovin v autovracích
- Obr. 18 Závislost změny materiálového složení automobilů v daném časovém období
- Obr. 19 Materiálové složení vozidla Škoda Octavia
- Obr. 20 Popis XRF metody
- Obr. 21 Princip funkce spektrometru využívající metodu ED-XRF
- Obr. 22 Spektrometr Delta professional
- Obr. 23 Brzdový třmen
- Obr. 24 Graf chemického složení brzdového třmenu
- Obr. 25 Měření sání motoru
- Obr. 26 Graf naměřených hodnot sání motoru
- Obr. 27 Měření palivového vedení
- Obr. 28 Graf naměřených hodnot palivového potrubí
- Obr. 29 Měření převodové skříně
- Obr. 30 Výstup z měřicího přístroje
- Obr. 31 Graf naměřených hodnot skříně převodovky
- Obr. 32 Řadicí vidlice
- Obr. 33 Měření řadicí vidlice
- Obr. 34 Graf naměřených hodnot řadicí vidlice